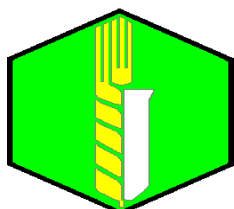


**Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i., Praha – Ruzyně**

Odbor genetiky, šlechtění a kvality produkce

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



Pořádají 13. ročník konference

***VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH  
STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2013***

(Recenzovaný sborník příspěvků)

**INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC STRESSES  
ON PROPERTIES OF PLANTS 2013**

*(Proceedings)*



**Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha – Ruzyně  
13. - 14. 2. 2013**

**Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha – Ruzyně**  
**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Pořadatelé:**

Odbor genetiky, šlechtění a kvality produkce

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze

***VLIV ABIOTICKÝCH A BIOTICKÝCH  
STRESORŮ NA VLASTNOSTI ROSTLIN 2013***

(Recenzovaný sborník příspěvků)

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou

**Crop Research Institute**  
**Czech University of Life Science Prague**

**Organizers:**

**Division of genetic and plant breeding**

**Faculty of Agrobiolology, Food and Natural Resources**

***INFLUENCE OF ABIOTIC AND BIOTIC  
STRESSES ON PROPERTIES OF PLANTS 2013***  
(Proceedings)

This publication has not undergone language editing

© **Redakčně zpracoval:** Ing. František Hnilička, Ph.D.

**Jazyková korektura:** Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou

**Foto na titulní straně:** Harrachov, Krkonoše

foto Ing. Helena Hniličková, Ph.D.

**Odborný garant konference:** Ladislav Bláha (VÚRV v.v.i.)

František Hnilička (ČZU v Praze)

**Odborní recenzenti:** *doc. RNDr. Jan Novák, DrSc.*

*Ing. Zuzana Šlégrová*

**Organizační výbor konference:**

Ing. Ladislav Bláha, CSc. (VÚRV, v.v.i.)

Ing. František Hnilička, Ph.D. (ČZU v Praze)

Ing. Helena Hniličková, Ph.D. (ČZU v Praze.)

Ing. Jiří Hermuth (VÚRV, v.v.i.)

Ing. Milan Oldřich Urban (VÚRV, v.v.i.)

Bc. Šárka Lacinová (ČZU v Praze)

Bc. Zuzana Čapková (ČZU v Praze)

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha - Ruzyně, 2013

ISBN: 978-80-7427-131-1

© Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013

ISBN: 978-80-213-2357-5



## Obsah

|                                                                               |                                                                                                                                                                                               |       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| Vyskot, B.                                                                    | Dědičnost stresového stavu                                                                                                                                                                    | ..... | 1  |
| Masarovičová, E., Majeková, M., Vykoukalová, I.                               | Fenotypová plasticita rostlin                                                                                                                                                                 | ..... | 3  |
| Holá, D., Kočová, M., Rothová, O., Tůmová, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. | Primární fotosyntetické procesy u dvou druhů lesních stromů dlouhodobě vystavených zvýšené koncentraci CO <sub>2</sub>                                                                        | ..... | 8  |
| Jamnická, G., Ditmarová, E., Majeková, J., Pšidová, E.                        | Hodnotenie zmien efektívneho kvantového výťažku premeny fotochemickej energie PSII a chlorofylového indexu pre rozdielne proveniencie buka ovplyvnené vodným deficitom a následným zavlažením | ..... | 12 |
| Majdák, A., Blaženec, M., Jakuš, R., Gondová, M.                              | Zmeny teploty listov sadeníc buka rôznych proveniencií jako reakcia na vodný stres                                                                                                            | ..... | 17 |
| Blaženec, M., Majdák, A., Jakuš, R., Gondová, M.                              | Porovnanie priebehu teplôt kmeňa a koruny dospelých smrekov na porastovej stene a vo vnútri porastu                                                                                           | ..... | 21 |
| Kúdela, V.                                                                    | Ohrožujú glyfosátové herbicidy udržiteľnosť intenzívnych pestitelských systémů?                                                                                                               | ..... | 25 |
| Chrpová, J., Šíp, V., Hanzalová, A., Štočková, L.                             | Výskyt chorob obilovin v závislosti na počasí                                                                                                                                                 | ..... | 32 |
| Kožnarová, V., Hájková, L., Bachanová, S.                                     | Vliv počasí na nástup fenologických fází olše lepkavé ( <i>Alnus glutinosa</i> )                                                                                                              | ..... | 38 |
| Pokorný, R., Tomášková, I.                                                    | Vliv zvýšeného CO <sub>2</sub> na vybrané parametry primární a sekundární struktury smrku ztepilého                                                                                           | ..... | 44 |
| Hýsek, J., Vavera, R., Hermuth, J.                                            | Vliv klimatu a počasí na celistvost rostliny a průběh chorob                                                                                                                                  | ..... | 48 |
| Jakuš, R., Cudlín, P., Blaženec, M., Brenkus, T.                              | Hodnotenie koruny a kmeňa smreka vo vzťahu k náletu lykožrúta smrekového ( <i>Ips typographus</i> )                                                                                           | ..... | 51 |
| Středa, T., Hajzler, M., Chloupek, O.                                         | Kořenový systém jako faktor tvorby výnosu a kvality polních plodin                                                                                                                            | ..... | 55 |
| Šerá, B.                                                                      | Jak interpretovat poměr „root/shoot“ v praxi                                                                                                                                                  | ..... | 61 |
| Šerá, B., Hájková, M.                                                         | Ošetření osiva novými přípravky se stimulačními účinky – vliv na klíčivost semen                                                                                                              | ..... | 67 |
| Eiseletová, M., Pokorný, J.                                                   | Úloha mokřadů v zemědělské krajině a jejich přínos ke zmírňování klimatických změn – syntéza současného stavu znalostí                                                                        | ..... | 71 |
| Holubec, V., Smekalova, T.                                                    | Botanická diverzita ovocných druhů <i>Lonicera</i> ( <i>Lonicera edulis</i> Turcz.) a jejich stanovišť na dálném východě                                                                      | ..... | 78 |
| Kukla, J., Kuklová, M.                                                        | Pôsobenie abiotických stresorov na rastliny a ekosystémy                                                                                                                                      | ..... | 85 |
| Salaj, T., Salaj, J.                                                          | Conservation of in vitro propagated plant material by cryopreservation: embryogenetic tissues of conifers                                                                                     | ..... | 95 |
| Kosová, K., Vítámvás, P., Vlasáková, E.,                                      | Odezva ječmene ( <i>Hordeum vulgare</i> ) cv.                                                                                                                                                 | ..... | 99 |

|                                                                      |                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Prášil, I. T.                                                        | Amulet a cv. Tadmor na zasolení                                                                                                        |     |
| Kuklová, M., Kukla, J., Šimková, I.,<br>Hniličková, H., Hnilička, F. | Akumulácia zinku v systéme pôda-<br>bylina v imisne ovplyvnených bukových<br>ekosystémoch                                              | 105 |
| Liška, D., Lukačová, Z., Lux, A.                                     | Porovnanie prijmu kadmia a kremíka<br>rastlin kukurice ( <i>Zea mays</i> L.)<br>kultivovaných v hydroponii a v in vitro<br>podmienkach | 109 |
| Soukup, M., Martinka, M.                                             | Vápnik zmierňuje toxický vplyv kadmia<br>na nutačné pohyby koreňov kukurice<br>sietej ( <i>Zea mays</i> L.)                            | 113 |
| Bjelková, M., Větrovcová, M., Griga, M.                              | Primární vliv hnojení čistírenskými kaly<br>na obsah Cd, Pb, a Zn ve lnu setém. -                                                      | 117 |
| Cárách, M., Salaj, T.                                                | Význam in vitro kultúr při štúdiu<br>účinkov ťažkých kovov                                                                             | 122 |
| Gálusová, T., Piršelová, B., Kuna, R.,<br>Boleček, P.                | Vplyv arzenu a kadmia na fluorescenciu<br>chlorofylu v listoch <i>Glycine max</i> (L.)<br>Merr.                                        | 126 |
| Henselová, M., Slováková, L.                                         | Vplyv benzo(a)pyrenu na rast, výnos a<br>prijem zinku a železa rastlín fazule<br>mungo                                                 | 130 |
| Kohanová, J., Švubová, R., Blehová, A.                               | Kompozitné rastliny jako model pre<br>štúdium prijmu ťažkých kovov                                                                     | 135 |
| Kochanová, Z., Sedláková, B., Luxová, M.                             | Vplyv zinku a kremíka na metabolizmus<br>amoniaku v klíčnych rastlinách kukurice<br>( <i>Zea mays</i> L.) v podmienkach zasolenia      | 139 |
| Kummerová, M., Zezulka, Š., Babula, P.,<br>Váňová, L.                | Assessment of biochemical, physio-<br>logical and histochemical characteristic<br>in <i>Lemna minor</i> treated by fluoranthene        | 143 |
| Mocová, K. A., Palková, H., Sopř, T.                                 | Vliv toxických kovů na růst jetele<br>( <i>Trifolium pratense</i> L.)                                                                  | 147 |
| Peško, M., Král'ová, K.                                              | Vplyv niklu na rastové a biochemické<br>ukazovatele hydroponicky pestovaných<br>rastlín <i>Brassica napus</i> L.                       | 151 |
| Vaculíková, M., Vaculík, M., Lux, A.,<br>Sebastiani, L., Luxová, M.  | Vplyv zinku na štruktúrnú variabilitu<br>pletív rôznych klonov topoľa ( <i>Populus</i><br>spp.)                                        | 156 |
| Zemanová, V., Pavlíková, D., Najmanová,<br>J., Száková, J.           | Metabolismus volných aminokyselin<br>v rostlinách rodu <i>Thlaspi</i> na půdě<br>kontaminované kadmíem                                 | 160 |
| Gálusová, T., Gregorová, Z., Kuna, R.,<br>Matusšíková, I.            | Účinky různých dávek vody na pšenici                                                                                                   | 164 |
| Korovetska, H., Gloser, V.                                           | Reakce rostlin na vysychání půdy:<br>změny chemického složení xylémové<br>šťávy jako potenciální signál                                | 168 |
| Nalévanková, P., Střelcová, K., Sitková, Z.,<br>Leštianska, A.       | Sucho ako faktor limitujúci transpiráciu<br>dospelých jedincov buka                                                                    | 172 |
| Nováková, M., Skalský, R., Takáč, J.                                 | Analýza vývoja poľnohospodárskej<br>sezóny 2012 z hľadiska výskytu sucha v<br>poľnohospodárskej krajine: príklad<br>kukurice na zrno   | 176 |
| Pástorová, A., Leštianska, A., Střelcová, K.                         | Zmeny obvodov kmeňov proveniencií<br>smreka pod vplyvom pôdneho a<br>atmosférického sucha                                              | 186 |
| Raus, J., Sochorec, M., Knot, P.                                     | Vlhkost půdy pod mulčovanými a                                                                                                         | 190 |

|                                                                                                        |                                                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Gruľová, D., Fejér, J., Šalamon, I.</i>                                                             | sečenými extenzivními trávnickými<br>Vplyv klimatických podmienok na<br>produkčnú schopnosť mäty piepornej<br>( <i>Mentha × piperita</i> L.) | ..... 194 |
| <i>Potop, V.</i>                                                                                       | Vývoj sortimentu a výnosů zelenin<br>pěstovaných v Polabí (České nížině) ve<br>vztahu ke klimatu                                             | ..... 198 |
| <i>Türkott, L., Pospíšilová, E.</i>                                                                    | Vliv mikroklimatu ventarol vrchu Boreč<br>na vegetaci borečky vzácné ( <i>Targionia<br/>hypophylla</i> L.)                                   | ..... 202 |
| <i>Seidenglanz, M., Hlavjenka, V.</i>                                                                  | Možnosti hodnocení distribuce<br>vybraných škodlivých organismů<br>v prostoru ve vztahu k odhadům rizik<br>pro jednotlivé zóny porostů       | ..... 206 |
| <i>Macková, M., Kmet', J.</i>                                                                          | Variabilita prieduchových charakteristík<br>listov piatich proveniencií buka lesného<br>( <i>Fagus sylvatica</i> L.)                         | ..... 210 |
| <i>Tekušová, M., Horecká, V., Jančovičová,<br/>L., Jakubíková, V.</i>                                  | Premrzanie pôdy v regióne Podunajská<br>nížina                                                                                               | ..... 214 |
| <i>Pivoňka, D., Krpeš, V.</i>                                                                          | Vliv ozáření na koncentraci<br>fotosyntetických pigmentů čtyřletých<br>klonů smrku ztepilého                                                 | ..... 218 |
| <i>Prerostova, S., Dobrev, P., Gaudinova, A.,<br/>Vankova, R.</i>                                      | Charakterizace rozdílné reakce halofytu<br><i>Thellungiella halophila</i> a <i>Arabidopsis<br/>thaliana</i> na solný stres                   | ..... 222 |
| <i>Stolárik, T., Henselová, M., Slováková, L.,<br/>Zahoranová, A., Černák, M.</i>                      | Nízкотеплотná plazma jako induktor<br>oxidačního stresu a jej vplyv na úrodu<br>hrachu siateho                                               | ..... 226 |
| <i>Sarker, M., Mészáros, P., Maglovski, M.,<br/>Libantová, J., Moravčíková, J.,<br/>Matušíková, I.</i> | Vplyv nadbytku dusíka na rastliny<br>pšenice vo vegetatívnom štádiu                                                                          | ..... 231 |
| <i>Živna, T., Pospíšilová, L., Drápelová, I.</i>                                                       | Obsah labilních frakcí uhlíku ve<br>vybraných přírodních humusových<br>látkách                                                               | ..... 235 |
| <i>Bláha, L., Hniličková, H., Hnilička, F.,<br/>Matějovič, M.</i>                                      | Vliv aplikace 24-epibrassinolidu a<br>vodního deficitu na výši výnosu jarní<br>pšenice                                                       | ..... 239 |
| <i>Candráková, E., Macál, M., Noskovič, J.</i>                                                         | Vplyv podmienok pestovania a<br>vybraných faktorov na úrodu pšenice<br>tvrdej                                                                | ..... 243 |
| <i>Candráková, E., Noskovič, J., Porhajašová,<br/>J.</i>                                               | Látkové zloženie semena hrachu siateho<br>v závislosti od podmienok pestovania<br>a faktorov pokusu                                          | ..... 247 |
| <i>Hermuth, J., Dotlačil, L., Prohasková, A.,<br/>Stehno, Z., Dvořáček, V.</i>                         | Změny odrůdových charakteristik<br>pšenice dosažené šlechtěním a podmí-<br>něné pěstitelskými technologiemi                                  | ..... 251 |
| <i>Hnilička, F., Koudela, M., Martinková, J.,<br/>Svozilová, L.</i>                                    | Změny rychlosti výměny plynů cibule<br>kuchyňské v závislosti na zálivce a<br>aplikaci Agrisorbu                                             | ..... 256 |
| <i>Hniličková, H., Hnilička, F., Kuklová, M.,<br/>Kukla, J.</i>                                        | Rychlost fotosyntézy u vybraných druhů<br>v prostředí imisně ovlivněných buko-<br>vých ekosystémů                                            | ..... 260 |
| <i>Kotíková, Z., Zámečnicková, B., Miholová,<br/>D., Vodičková, H., Száková, J., Lachman,</i>          | Vliv Cd stresu na obsah Ca, Mn, Zn, Fe<br>a Cu ve vybraných orgánech ječmene                                                                 | ..... 264 |

|                                                                   |                                                                                                                                          |           |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| J.                                                                | ( <i>Hordeum sativum</i> L.)                                                                                                             |           |
| Krpeš, V., Michna, K.                                             | Strukturní rozdíly v odlišné růstové strategii klonů smrku ztepilého                                                                     | ..... 268 |
| Martincová, J., Ondrášek, L.                                      | Produkcia a kvalita košarovaných trávnych porastov v závislosti od druhového zloženia a pôdnobiologických vlastností pôdy                | ..... 272 |
| Martinek, J., Svobodová, M., Králíčková, T., Šantrůček, J.        | Vliv růstového regulátoru Moddus na produkci fyto-masy vybraných kultivarů travníkových druhů trav v podmínkách nízké světelné intenzity | ..... 278 |
| Matraimov, M. B., Salaš, P., Jonáš, M., Sasková, H., Baltazár, T. | Morfologické a fyziologické parametry <i>Tilia platyphyllos</i> L. s využitím aplikace hydrogelu                                         | ..... 282 |
| Ondrášek, L., Martincová, J., Čunderlík, J.                       | Mineralizácia dusíka v pôde pod košarovaným trávny-m porastom                                                                            | ..... 288 |
| Satrapová, J., Potop, V., Venclová, V., Soukup, J.                | Vztah mezi lokálními klimatickými podmínkami a růstovými charakteristikami vybraných plevelů v letech 2010 a 2011                        | ..... 293 |
| Středová, H., Středa, T., Rožnovský, J.                           | Podmínky pro přezimování plodin v dlouhodobém hodnocení                                                                                  | ..... 297 |
| Šafránková, I., Krutilová, J.                                     | Působení exogenní kyseliny abscisové a brassinosteroidů na parametry výměny plynů pšenice v podmínkách zasolení                          | ..... 301 |
| Urban, M. O.                                                      | Vztahy mezi reflektančními indexy PRI a NDVI, mrazuvzdorností (LT50) a akumulací dehydrinů u 5 odrůd řepky olejky                        | ..... 305 |
| Zábranský, P., Brant, V., Pivec, J., Gemerlová, M., Kroulík, M.   | Vliv struktury porostů kukuřice seté na distribuci srážek                                                                                | ..... 310 |

## Seznam účastníků

### A

Albrechtová, J. - 8

### B

Babula, P. - 143

Bachanová, S. - 38

Baltazár, T. - 282

Bjelková, M. - 117

Bláha, L. - 239

Blaženec, M. - 17, 21, 51

Blehová, A. - 135

Boleček, P. - 126

Brant, V. - 310

Brenkus, T. - 51

### C

Candráková, E. - 243, 247

Cárach, M. - 122

Cudlín, P. - 51

### Č

Černák, M. - 226

Čunderlík, J. - 288

### D

Ditmarová, E. - 12

Dobrev, P. - 222

Dotlačil, L. - 251

Drápelová, I. - 235

Dvořáček, V. - 251

### E

Eiseletová, M. - 71

### F

Fejér, J. - 194

### G

Gálusová, T. - 126, 164

Gaudinova, A. - 222

Gemerlová, M. - 310

Gloser, V. - 168

Gondová, M. - 17, 21

Gregorová, Z. - 164

Griga, M. - 117

Grul'ová, D. - 194

### H

Hájková, L. - 38

Hájková, M. - 67

Hajzler, M. - 55

Hanzalová, A. - 32

Henselová, M. - 130, 226

Hermuth, J. - 48, 251

Hlavjenka, V. - 206

Hnilička, F. - 105, 239, 256, 260

Hniličková, H. - 105, 239, 260

Holá, D. - 8

Holubec, V. - 78

Horecká, V. - 214

Hýsek, J. - 48

### CH

Chloupek, O. - 55

Chrpová, J. - 32

### J

Jakubíková, V. - 214

Jakuš, R. - 17, 21, 51

Jamnická, G. - 12

Jančovičová, L. - 214

Jonáš, M. - 282

### K

Kmeť, J. - 210

Knot, P. - 190

Kočová, M. - 8

Kohanová, J. - 135

Kochanová, Z. - 139

Korovetska, H. - 168

Kosová, K. - 99

Kotíková, Z. - 264

Koudela, M. - 256

Kožnarová, V. - 38

Králičková, T. - 278

Kráľová, K. - 151

Kroulík, M. - 310

Krpeš, V. - 218, 268

Krutilová, J. - 301

Kúdela, V. - 25

Kukla, J. - 85, 105, 260

Kuklová, M. - 85, 105, 260

Kummerová, M. - 143

Kuna, R. - 126, 164

### L

Lachman, J. - 264

Leštínska, A. - 172, 186

Lhotáková, Z. - 8

Libantová, J. - 231

Líška, D. - 109

Lukačová, Z. - 109

Lux, A. - 109, 156,

*Luxová, M. – 139, 156*

## **M**

*Macál, M. - 243*  
*Macková, M. - 210*  
*Maglovski, M. - 231*  
*Majdák, A. – 17, 21*  
*Majeková, J. - 12*  
*Majeková, M. - 3*  
*Martincová, J. – 272, 278*  
*Martinek, J. - 278*  
*Martinka, M. - 113*  
*Martinková, J. - 256*  
*Masarovičová, E. - 3*  
*Matějovič, M. - 239*  
*Matraimov, M. B. - 282*  
*Matušíková, I. – 164, 231*  
*Mészáros, P. - 231*  
*Miholová, D. - 264*  
*Michna, K. - 268*  
*Mocová, K. A. - 147*  
*Moravčíková, J. - 231*

## **N**

*Najmanová, J. - 160*  
*Nalevanková, P. - 172*  
*Noskovič, J. - 243, 247*  
*Nováková, M. - 176*

## **O**

*Ondrášek, L. – 272, 288*

## **P**

*Palková, H. - 147*  
*Pástorová, A. - 186*  
*Pavlíková, D. - 160*  
*Peško, M. - 151*  
*Piršelová, B. – 126*  
*Pivec, J. - 310*  
*Pivoňka, D. - 218*  
*Pokorný, J. - 71*  
*Pokorný, R. - 44*  
*Porhajašová, J. - 247*  
*Pospíšilová, E. - 202*  
*Pospíšilová, L. - 235*  
*Potop, V. – 198, 293*  
*Prášil, I. T. - 99*  
*Prerostova, S. - 222*  
*Prohasková, A. - 251*  
*Pšidová, E. - 12*

## **R**

*Raus, J. - 190*  
*Rothová, O. - 8*

*Rožnovský, J. - 297*

## **S**

*Salaj, J. - 95*  
*Salaj, T. – 95, 122*  
*Salaš, P. - 282*  
*Sarker, M. - 231*  
*Sasková, H. - 282*  
*Satrapová, J. - 293*  
*Sebastiani, L. - 156*  
*Sedláková, B. – 139*  
*Seidenglanz, M. - 206*  
*Sitková, Z. - 172*  
*Skalský, R. - 176*  
*Slováková, L. – 130, 226*  
*Smekalova, T. - 78*  
*Sochorec, M - 190*  
*Sopr, T. - 147*  
*Soukup, J. - 293*  
*Soukup, M. – 113*  
*Stehno, Z. - 251*  
*Stolárik, T. - 226*  
*Středa, T. – 55, 297*  
*Středová, H. - 297*  
*Střelcová, K. – 172, 186*  
*Svobodová, M. - 278*  
*Svozilová, L. - 256*  
*Száková, J. – 160, 264*

## **Š**

*Šafránková, I. - 301*  
*Šalamon, I. - 194*  
*Šantrůček, J. - 278*  
*Šerá, B. – 61, 67*  
*Šimková, I. - 105*  
*Šíp, V. - 32*  
*Štočková, L. - 32*  
*Švubová, R. - 135*

## **T**

*Takáč, J. - 176*  
*Tekušová, M. - 214*  
*Tomášková, I. - 44*  
*Tůmová, L. - 8*  
*Türkott, L. - 202*

## **U**

*Urban, M. O. - 305*

## **V**

*Vaculík, M. - 156*  
*Vaculíková, M. - 156*  
*Vankova, R. - 222*  
*Váňová, L. – 143*

*Vavera, R. - 48*

*Venclová, V. - 310*

*Větrovcová, M. - 117*

*Vítámvás, P. - 99*

*Vlasáková, E. - 99*

*Vodičková, H. - 264*

*Vykoukalová, I. - 3*

*Vyskot, B. - 1*

## **Z**

*Zábranský, P. - 310*

*Zahoranová, A. - 226*

*Zámečnicková, B. - 264*

*Zemanová, V. - 160*

*Zezulka, Š. - 143*

## **Ž**

*Živna, T. - 235*

## **DĚDIČNOST STRESOVÉHO STAVU**

### ***INHERITANCE OF STRESS-INDUCED CHROMATIN CHANGES***

Boris Vyskot

Oddělení vývojové genetiky rostlin, Biofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., 61265 Brno, vyskot@ibp.cz

#### ***Souhrn***

Rostliny, zejména díky absenci lokomočního pohybu a zárodečné dráhy, si vyvinuly řadu obranných adaptačních mechanismů, které v principu mohou být předávány do následných generací. Mezi fyzikální a chemické faktory, které stresy vyvolávají, patří zejména teplota, záření, sucho, salinita a přítomnost těžkých kovů, popřípadě přítomnost patogenů. Obecně tyto faktory vyvolávají fyziologické reakce, které mohou narušovat normální stav rostliny a jejích struktur. První důkaz o genetické transmisi indukované stresem podala již Barbara McClintocková, která pozorovala mobilitu DNA transpozonů způsobenou zvýšenou teplotou. V dnešní době existují důkazy o tom, že v zárodečných buňkách rostlin (generativní pylové buňky a buňky vaječné) jsou aktivovány imunitní reakce na bázi malých molekul siRNA, které se snaží zabránit transkriptům retroelementů přejít do další generace. Pokud je však tento mechanismus narušen, dochází po teplotní indukci k masovému rozšíření četnosti retroelementů v buňkách rostlin další generace. Stresem indukovaná mobilita transpozonů patří mezi nejlépe prostudované stresové jevy, u kterých byla jednoznačně prokázána dědičnost indukovaného stavu. Reakce rostlin na stresové stavy jsou velmi dynamické a probíhají na mnoha úrovních. Reakce na buněčné úrovni zahrnují změny buněčného cyklu a dělení, modifikaci složení membrán a buněčné stěny. Geny, jejichž exprese je indukována stresem, vytvářejí proteiny, které se přímo podílejí na obraně před stresem nebo kódují regulační proteiny. Stresy často indukují zlomy molekul DNA, které mohou být reparovány různými mechanismy včetně somatické homologní rekombinace. Tento mechanismus je často užíván jako markerový systém pro studium stresových reakcí a jejich dědičnosti. Bylo například prokázáno, že expozice rostlin *Arabidopsis thaliana* vůči UV-záření nebo bakteriálnímu elicitoru flagelinu zvyšuje frekvenci somatické homologní rekombinace až do čtvrté generace po aplikaci stresu. Jiné studie však naznačují, že homologní rekombinace univerzálním obranným mechanismem rostlin vůči stresu nejsou a ve většině případů se dočasně zvýšená frekvence rekombinace nepromítá do dalších generací.

#### **LITERATURA**

- Becker, C., Hagmann, J., Muller, J., Koenig, D., Stegle, O., Borgwardt, K., Weigel, D.: Spontaneous epigenetic variation in the *Arabidopsis thaliana* methylome. *Nature* 480: 245-U127, 2011
- Ito, H., Gaubert, H., Bucher, E., Mirouze, M., Vaillant, I., Paszkowski, J.: An siRNA pathway prevents transgenerational retrotransposition in plants subjected to stress. *Nature* 472: 115-119, 2011
- Mirouze, M., Paszkowski, J.: Epigenetic contribution to stress adaptation in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 14: 267-274, 2011
- Pecinka, A., Mittelsten Scheid, O.: Stress-induced chromatin changes: a critical view on their heritability. *Plant and Cell Physiology* 53: 801-808, 2012
- Pecinka, A., Rosa, M., Schikora, A., Berlinger, M., Hirt, H., Hirt, H., Luschnig, C., Mittelsten Scheid, O.: *PloS One* 4: e5202, 2009



- Schmitz, R. J., Schultz, M. D., Lewsey, M. G., O'Malley, R. C., Urich, M. A., Libiger, O., Schork, N. J., Ecker, J. R.: Transgenerational epigenetic instability is a source of novel methylation variants. *Science* 334: 369-373, 2011
- Slotkin, K. R., Vaughn, M., Borges, F., Tanurdzic, M., Becker, J. D., Feijo, J. A., Martienssen, R. A.: Epigenetic reprogramming and small DNA silencing of transposable elements in pollen. *Cell* 136: 461-472, 2009
- Vyskot, B.: EpiGenetika. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc (ISBN 978-80-244-2534-4), 2010
- Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 2005: 807–811

### **Poděkování**

Práce autora je podporována granty GA ČR (P501/12/G090 a P501/10/0102).

## FENOTYPOVÁ PLASTICITA RASTLÍN

### *PHENOTYPIC PLASTICITY IN PLANTS*

Elena Masarovičová, Mária Májeková, Ivana Vykouková

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, SK-842 15 Bratislava, Slovenská republika; e-mail: masarovicova@fns.uniba.sk

#### Summary

Paper is aimed at some aspects of phenotypic plasticity in plants. Phenotypic plasticity was analysed in the relationships to abiotic factors - environmental resources (irradiance, temperature, water and mineral nutrients), biotic factors (such are neighbour plants in population or symbiotic microorganisms in the soil), as well as to climatic change. There were presented fundamental terms connected with plant plasticity. Both, importance and consequence of plant plasticity for study of plant response to varying environmental conditions were stressed, too.

*Key words: adaptive plasticity, climatic change, environmental resources, phenotypic plasticity, invasive species, theory of methamers*

#### Súhrn

V práci sa venujeme fenotypovej plasticite rastlín vo vzťahu k abiotickým faktorom – zdroje prostredia (energia žiarenia, teplota, voda, minerálna výživa), biotickým faktorom (ako sú susediace jedince v populácii alebo prítomnosť symbiotických mikroorganizmov v pôde), ako aj vo vzťahu ku klimatickej zmene. Definovali sme základné pojmy, súvisiace s variabilitou rastlín, a objasnili sme ich význam pre štúdium reakcie rôznych druhov rastlín na meniace sa environmentálne podmienky.

*Kľúčové slová: environmentálne zdroje, fenotypová a adaptívna plasticita, invázne druhy, klimatická zmena, teória metamér*

#### ÚVOD

Ekologicky dôležité odpovede rastlín na prostredie zahŕňajú špecifické upravenie (angl. adjustment) morfológických, anatomických, fyziologických a reprodukčných charakteristík, rozmiestnenia koreňa v pôde a účinkov kríženia na znaky dcérskych generácií jednotlivých taxónov. Rastlinné organizmy sú integrovaným vývinovým systémom, ktorého odpovede na zmeny prostredia nie sú nezávislými (porovnaj /1/). Jednou z oblastí vývinovej biológie rastlín je **fenotypová plasticita** (angl. phenotypic plasticity) – schopnosť rastliny meniť fenotyp v reakcii na environmentálne zmeny. Tento termín sa pôvodne ponímal v kontexte vývinu rastliny, v súčasnosti zahŕňa zmeny, ku ktorým dochádza v štádiu dospelosti rastliny a jej správanie sa v danom prostredí /1/. V našom príspevku sa venujeme fenotypovej plasticite rastlín vo vzťahu k abiotickým faktorom – zdroje prostredia (napr. energia žiarenia, teplota, voda, minerálna výživa), biotickým faktorom (susediace jedince v populácii alebo symbiotické mikroorganizmy v pôde), ako aj vo vzťahu ku klimatickej zmene. Zároveň zdôrazňujeme, že pre správne porozumenie evolučných procesov je dôležité študovať vzájomné vzťahy medzi rastlinami a prostredím nielen z hľadiska časových zmien, ale aj v zmysle vývinových a fyziologických procesov.

#### VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA FENOTYPOVEJ PLASTICITY RASTLÍN

Fenotypová plasticita je základom pre adaptáciu rastlín v rôznych ekologických podmienkach, pričom sa vychádza zo schopnosti genotypu vytvárať v zmenených environmentálnych podmienkach vhodné fenotypy. Na základe týchto poznatkov vznikol

pojem „adaptívna fenotypová plasticita“ (angl. adaptive phenotypic plasticity) alebo **adaptívna plasticita** (angl. adaptive plasticity), ktorý predstavuje fenotypovú plasticitu, zvyšujúcu celkovú kondíciu genotypu /2/. Neskoršie štúdiá ukázali, že **adaptívna plasticita** sa stala osobitným predmetom záujmu, pretože umožňuje jednotlivým genotypom úspešne rásť a rozmnožovať sa vo viacerých, environmentálne odlišných podmienkach. Adaptívna plasticita má významnú úlohu nielen v ekologickej distribúcii a evolučnej diverzifikácii rastlinných druhov, ale tiež prispieva v invadovaní rastlín (predovšetkým v prípade inváznych druhov) prostredníctvom rýchlej kolonizácie nového územia. V ďalšom texte sa preto venujeme aj problematike fenotypovej variability inváznych druhov rastlín.

Vo všeobecnosti sa pri štúdiu plasticity rastlín vychádza z daného genotypu, výberu environmentálnych faktorov a z determinovania príslušných fenotypových znakov rastliny. Avšak okrem genotypu a fyzikálnych faktorov prostredia je potrebné uvažovať a hodnotiť aj biotické faktory, ako sú napr. hustota populácie alebo prítomnosť symbiotických mikroorganizmov v pôde (napr. /2/). Dôležitá je aj skutočnosť, že v rôznych environmentálnych podmienkach genotyp má potenciálnu schopnosť si udržiavať funkčnosť a reprodukčný potenciál. Z tohto dôvodu, tak ako sme to už spomínali, je adaptívna odpoveď rastliny na prostredie významná aj z hľadiska selekcie a diverzifikácie rastlinných druhov. Dlhodobým problémom, ktorý sa pri štúdiu plasticity rastlín objavuje, je interpretácia fenotypových odpovedí na prostredie. Keďže sa zistilo, že v nepriaznivých a na zdroje (voda, živiny, energia žiarenia, teplota atď.) chudobnom prostredí výsledkom fyzikálnych účinkov na metabolické a vývinové procesy rastliny je redukcia rastu, preto fenotypy vznikajúce v sub-optimálnych podmienkach redukujú rast aj napriek tomu, že sa spúšťajú zmeny, ktoré maximalizujú ich životné funkcie /3/.

Hodnotiac históriu štúdia plasticity rastlín, sa vychádzalo z dvoch prístupov i) fenotypovej plasticity, predstavujúcej všetky fenotypové zmeny naprieč celému spektru prostredia (napr. /4/ a /5/). V týchto štúdiách sa plasticita poníma ako „jednoduchá neutrálna miera fenotypových rozdielov“ (angl. simply a neutral metric of phenotypic differences) v rôznych environmentálnych podmienkach s neznámym, a možno malým funkčným významom /6/. V druhom prístupe ii) sa pojmovo rozlišovali aspekty fenotypovej reakcie na prostredie na odpoveď, ktorá je funkčne adaptívna a na odpoveď, ktorá je vývinove alebo biochemicky nevyhnutná. Uvedené rozlíšenie je podstatné (zásadné) vtedy, ak chceme vedieť, či fenotypová odpoveď genotypu na zmenu prostredia môže znamenať jeho adaptáciu. Z tohto dôvodu sa zaviedol pojem „adaptívna fenotypová plasticita“ (angl. adaptive phenotypic plasticity) predstavujúci fenotypovú odpoveď genotypu na zmenu prostredia, ktorá zlepšuje rastlinné funkcie, a tým aj kondíciu rastliny v danom prostredí /7/. Ako príklad možno uviesť rýchlosť fotosyntézy vyjadrenú na jednotku listovej plochy, ktorá sa nevyhnutne a rýchlo znižuje v podmienkach nízkej energie žiarenia, takže rastlina produkuje iba časť biomasy v porovnaní s rastlinou, rastúcou v optimálnych svetelných podmienkach. V prípade nízkej energie žiarenia funkčná adaptívna plastická odpoveď spočíva v maximalizovaní pomeru medzi fotosyntetickou listovou plochou a biomasou listu (ide o parameter „špecifická listová plocha“, SLA), a tým aj zvýšení množstva zachytenej energie žiarenia (efektívnejšie využitie energie žiarenia) na gram listového pletiva. Inak povedané, tenký listový mezofyl a väčšia listová plocha v podmienkach nízkeho ožiarenia zvyšuje účinnosť zachytenia energie žiarenia. Z uvedeného vyplýva, že rastliny rastúce v podmienkach nízkej energie žiarenia vykazujú

väčšiu plasticitu v morfológii listov tým, že sa zvyšuje hodnota SLA. Ďalším príkladom na adaptívnu plastickú odpoveď rastliny je vytváranie menšieho počtu a kratších rizómov u druhu *Calamagostis canadensis* v podmienkach nízkej teploty pôdy /8/ alebo zvýšená akumulácia biomasy do koreňového systému (zvýšenie R:S pomeru) v prípade nízkej pôdnej vlahy, čo maximalizuje množstvo vody dostupnej pre pletivá koreňa /9/. Aby sa mohli uvedené vzťahy správne a komplexne interpretovať, do problematiky plasticity rastlín a vysvetlenia fenotypových zmien vstúpili rastlinní fyziológovia a ekofyziológovia. Potrebné je však zdôrazniť, že interpretácia plasticity na základe adaptability je komplikovaná, pretože kondícia rastliny v daných ekologických podmienkach je výsledkom viacerých aspektov fenotypu /10/. Podľa Sultan /2/ adaptívna plasticita je komplexný jav, keď znaky (ako sú napr. veľkosť a počet listov), vzájomne sa ovplyvňujúc pôsobia na kondíciu rastliny a zároveň vykazujú svoju pestrosť a spôsob odpovede na zmeny prostredia. Napr. Sultan a Bazzaz (/11/ a /12/) zistili, že akumulácia biomasy do koreňa silne koreluje s kondíciou rastliny len v prípade, keď je nedostatok vlahy a živín v pôde.

### FENOTYPOVÁ PLASTICITA A ENVIRONMENTÁLNE FAKTORY

Tak ako sme to uviedli v našej prehľadnej práci /13/ plasticita rastlín súvisí aj s aklimáciou fyziologických procesov (napr. fotosyntéza, respirácia a prerozdelenie biomasy do rastlinných orgánov) na environmentálne faktory, ako sú energia žiarenia, teplota, zásobenie pôdy vodou a živinami, atď. Vysoká kapacita pre aklimáciu odrzrkadľuje fenotypovú plasticitu genotypu vyjadrenú v určitých charakteristikách. Avšak, relatívne malá plasticita jednej charakteristiky môže byť dôsledkom veľkej plasticity inej charakteristiky. Napr. nízka morfológická plasticita (dĺžka stonky) alpského druhu *Stellaria longipes* je dôsledkom veľkej fyziologickej plasticity (produkcia etylénu). Obidve charakteristiky sa priamo vzťahujú k rovnakému environmentálnemu faktoru (stres vyvolaný silným vetrom) a vzniknutý fenotyp má priamy podiel na kondícii („fitness“) rastliny /14/. Navyše, veľká morfológická plasticita prerozdelenia biomasy medzi listy a korene vo vzťahu k živinám a žiareniu sa prejaví v nízkej plasticite rýchlosti rastu rastliny, takže rýchlosť rastu sa v prípade rôznych environmentálnych podmienok mení (varíruje) relatívne málo. Ukázalo sa, že v prípade meniacich sa environmentálnych podmienok veľká plasticita umožňuje genotypu udržiavať si prevahu (dominanciu) v priestore i čase tým, že kontinuálne využíva nové možnosti (nové zdroje stanovišťa), čím si rastlina udržiava svoju kondíciu. Pritom treba zdôrazniť, že väčšia plasticita jednej charakteristiky je zvyčajne na úkor menšej plasticity niektorej z iných charakteristík; nezanedbateľná je aj kompetičná schopnosť daného druhu vo fytocenóze. Napr. druhy s oneskorenou sukcesiou majú v porovnaní s druhmi s rýchlejšou sukcesiou, väčšiu tendenciu prispôbiť fotosyntetické charakteristiky k takým hodnotám, ako majú sciofyty (tieň tolerantné druhy) /15/. Typickým príkladom je predlžovanie stonky v podmienkach tieňa. Zatiernenie tiež potláča rozkonárovanie dvojklíčnolistových rastlín a zvyšuje odnožovanie jednoklíčnolistových druhov (tráv). Táto plastická reakcia na prostredie je pravdepodobne dôležitá z hľadiska zápoja daného druhu so susednými rastlinami /16/.

Klimatická zmena mení dostupnosť zdrojov prostredia a environmentálne podmienky, ktoré majú zásadný význam pre existenciu rastlín. Jedným zo spôsobov odpovede rastliny na tieto zmeny je práve fenotypová plasticita. Autori /17/ zdôrazňujú, že porozumenie plasticity

rastlín je významné pre predikciu vplyvov klimatickej zmeny na prirodzené ekosystémy aj agroekosystémy, a to z hľadiska krátkodobých aj dlhodobých zmien. Interpretácia významu plasticity v determinovaní odpovede rastliny na klimatickú zmenu pritom musí byť rovnako relevantná pre ekológa, ako aj pre fyziológa a molekulového biológa.

Potrebné je poznamenať, že nie všetky vzťahy medzi rastlinami majú konkurenčný charakter. Napr. rastliny často krát zlepšujú prostredie susedných rastlín a zvyšujú ich rast v prípade uhynutia niektorých z nich tým, že sa priestor uvoľní a lepšie sa využívajú zdroje – nastane lepší prienik svetla, efektívnejšie sa využíva voda aj živiny. Rastliny, využívajúce vzdušný dusík v symbióze s mikroorganizmami (druhy čeľ. *Fabaceae* a rod *Rhizobium*) zlepšujú kvalitu pôdy tým, že sa po dekompozícii odumretej biomasy zvyšuje obsah dusíka v pôde (napr. /18/). Mnohé druhy prostredníctvom zatienenia zlepšujú teplotné pomery v poraste (tieto rastliny sa niekedy nazývajú ako „nurse plants“) /19/, produkujú sekundárne metabolity (majúce alelopatické účinky) /20/ alebo lákajú opeľovače rastlín. Mimoriadne významná je aj problematika sukcesie, pretože zmeny v druhovom zložení vegetácie sú výsledkom rôznej rýchlosti kolonizácie, rastu a mortality, a to obidvoch typov rastlín – rastlín skôr nastupujúcich sukcesiu aj rastlín neskôr nastupujúcich sukcesiu (porovnaj /21/).

## ĎALŠIE ASPEKTY FENOTYPOVEJ PLASTICITY RASTLÍN

V posledných rokoch sa problematika variability posudzovala aj z hľadiska teórie metamér (prehľadne /22/). Na základe tejto teórie, rastliny pozostávajú zo súboru metamér, tvoriacich stonku a koreň. Metaméry, ktoré sú výsledkom vývinu meristémov, sú spájané do modulov, tvoriacich rastlinný organizmus. V tomto zmysle plasticita celej rastliny závisí od plastickej odpovede jednak počtu metamér, ako aj od jednotlivých znakov metamér. Dôsledkom uvedenej organizácie rastliny je, že celá rastlina a jednotlivé metaméry sa môžu líšiť v hierarchii plastickej odpovede (angl. hierarchy of plasticities) na meniace sa zdroje prostredia. Takúto hierarchiu v plasticite uvedení autori zistili u rastlín druhu *Rubia perigrina*, keď priemerná dĺžka internódií korelovala s odpoveďou rastliny na energiu žiarenia, ale nekorelovala so zásobenosťou živín a vody v pôde.

Už sme uviedli, že invázne druhy sa v porovnaní s neinváznymi druhmi líšia aj vo fenotypovej plasticite. Autori /23/ zistili, že invázne druhy mali vo všeobecnosti signifikantne vyššiu fenotypovú plasticitu ako spolu vyskytujúce sa neinvázne druhy, pričom porovnávali rast, morfológické a fyziologické znaky vo vzťahu ku kondícii rastlín. Autori pozorovali, že invázne druhy boli vždy fenotypicky plastickejšie v odpovedi na lepšiu dostupnosť zdrojov, avšak táto plasticita bola iba v niektorých prípadoch spojená s kondičným benefitom (angl. fitness benefit). Na druhej strane je pozoruhodné, že neinvázne druhy si v podmienkach limitovaných na zdroje alebo v stresových podmienkach udržiavali väčšiu kondičnú homeostázu (angl. fitness homeostasis) ako invázne druhy. Autori zdôraznili, že zistenie lepšej plasticity viacerých znakov u invázných druhov a dobrej (ak nie lepšej) odpovede neinvázných druhov na prostredie s limitovanými zdrojmi môže mať dôsledky v predpovedi odpovede rastlín na globálne zmeny, vrátane globálnej klimatickej zmeny.

## LITERATÚRA

/1/ Sultan, S. E.: Phenotypic plasticity in plants: a case study in ecological development. *Evolution and Development* 5, 2003: 25-33.

/2/ Sultan, S. E.: Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Botanica Neerlandica* 44, 1995: 363-383.

- /3/ Sultan, S. E., Bazzaz, F. A.: Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. I. Diversity and uniformity in genotypic norms of reaction to light. *Evolution* 47, 1993a: 1009-1031.
- /4/ De Jong, G., Stearns, S. C.: Phenotypic plasticity and the expression of genetic variation. In: Dudley, E.C. (ed.): *The unity of evolutionary biology, International Congress of Systematic and Evolutionary Biology IV*. Dioscorides Press, Portland, USA, 2, 1991, p. 707-718.
- /5/ Scheiner, S. M.: Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 24, 1993: 35-68.
- /6/ Zhang, J., Lechowicz, M. J.: Correlation between time of flowering and phenotypic plasticity in *rabidopsis thaliana*. *American Journal of Botany* 81, 1994: 1336-1342.
- /7/ Sultan, S. E.: Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants. *Evolutionary Biology*, 21, 1987: 127-176.
- /8/ Macdonald, S. E., Liefers, V. J.: Rhizome plasticity and clonal foraging of *Calamagrostis canadensis* in response to habitat heterogeneity. *Journal of Ecology* 81, 1993: 769-776.
- /9/ Fitter, A. H., Hay, R. K. M.: *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, 2001, Pp. 367.
- /10/ Schlichting, C. D.: Phenotypic integration and environmental change. *Bioscience*, 39, 1989: 460-464.
- /11/ Sultan, S. E., Bazzaz, F. A.: Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. II. Norms of reaction to soil moisture, ecological breadth, and the maintenance of genetic diversity. *Evolution* 47, 1993b: 1032-1049.
- /12/ Sultan, S. E., Bazzaz, F. A.: Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. III. The evolution of ecological breadth for nutrient environment. *Evolution*, 47, 1993c: 1050-1071.
- /13/ Masarovičová, E., Májeková, M., Vykouková, I.: Plasticita a adaptabilita rastlín v rôznych ekologických podmienkach. In: Bláha, L., Šerá B. (Eds.): *Príspevek k významu celistvosti rastliny ve výzkumu, šlechtění a produkci rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i, Praha, Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR, v.v.i., Nové Hradky (v tlači)*.
- /14/ Emery, R. J. N., Chinnappa, C. C., Chmielewski, J. G.: Specialization, plant strategies, and phenotypic plasticity in populations of *Stellaria longipes* along an elevational gradient. *International Journal of Plant Sciences*, 155, 1994: 203-219.
- /15/ Küppers, M.: Carbon relations and competition between woody species in a central European hedgerow. I.
- /16/ Deregibus V. A., Sanchez, R. A., Casali, J. J.: Effects of light quality on tiller production in *Lolium* spp. *Plant Physiology*, 72, 1983: 900-902.
- /17/ Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., Poot, P., Purugganan, M. D., Richards, C. L., Valladares, F., van Kleunen, M.: Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, 15, 2010: 684-692.
- /18/ Grime, J. P., Mackey, J. M. L., Hillier, S. H., Read, D. J.: Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature*, 328, 1987: 420-422.
- /19/ Nobel, P. S.: Extreme temperatures and thermal tolerances for seedlings of desert succulents. *Oecologia*, 62, 1984: 310-317.
- /20/ Pickett, J. A., Rasmussen, H. B., Woodcock, C. M., Matthes, M., Napier, J. A.: Plant stress signalling: Understanding and exploiting plant-plant interactions. *Biochemical Society Transactions*. 31, 2003: 123-127.
- /21/ Walker, L. R., del Moral, R.: *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Cambridge University Press, Cambridge, 2003, Pp. 456.
- /22/ Navas, M. L., Garnier, E.: Plasticity of whole plant and leaf traits in *Rubia peregrina* in response to light, nutrient and water availability. *Acta Oecologica* 23, 2002: 375-383.
- /23/ Davidson, A. M., Jennions, M., Nicotra, A. B.: Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A meta-analysis. *Ecology Letters* 14, 2011, p.419-431.

## Pod'akovanie

Tento článok vznikol vďaka finančnej podpore grantovej agentúry VEGA – granty č. 1/0476/09 a č. 1/0414/13, ako aj s finančnou podporou OP Výskum a vývoj – projekt Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, ITMS 26240120004, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## **PRIMÁRNÍ FOTOSYNTETICKÉ PROCESY U DVOU DRUHŮ LESNÍCH STROMŮ DLOUHODOBĚ VYSTAVENÝCH ZVÝŠENÉ KONCENTRACI CO<sub>2</sub>**

### ***PRIMARY PHOTOSYNTHETIC PROCESSES IN TWO FOREST TREE SPECIES SUBJECTED TO LONG-TERM ELEVATED CO<sub>2</sub> CONCENTRATION***

Dana Holá<sup>1</sup>, Marie Kočová<sup>1</sup>, Olga Rothová<sup>1</sup>, Lenka Tůmová<sup>1</sup>, Zuzana Lhotáková<sup>2</sup>, Jana Albrechtová<sup>2</sup>

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra genetiky a mikrobiologie<sup>1</sup> a katedra experimentální biologie rostlin<sup>2</sup>, Viničná 5, Praha 2 – Nové Město, 128 43, danahola@natur.cuni.cz

#### ***Summary***

The long-term CO<sub>2</sub> enrichment usually causes significant stimulation of photosynthesis in forest trees. However, the response of individual parts of photosynthetic processes to elevated CO<sub>2</sub> is still not completely elucidated. We studied the impact of long-term exposure of young beech and spruce trees to elevated CO<sub>2</sub> on the efficiency of primary photosynthetic processes using *in situ* measurements of the polyphasic rise of chlorophyll *a* fluorescence transient (OJIP curve) and *in vitro* measurements of the Photosystem 1 and 2 activities in suspensions of isolated chloroplasts. Our results showed that a) the CO<sub>2</sub> enrichment can negatively affect the efficiency of electron-transport processes in thylakoid membranes; b) this effect can be observed only in the sun-exposed leaves in contrast to the shaded ones; c) young leaves (sampled in June / July) are more affected than the older ones (sampled in August / October).

*Key words: Chlorophyll fluorescence, elevated CO<sub>2</sub>, Fagus sylvatica, irradiance, leaf age, photochemical activity of isolated chloroplasts, Photosystems 1 and 2, Picea abies*

#### ***Souhrn***

Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> pozitivně ovlivňuje účinnost fotosyntézy u lesních stromů. Dosud však není zcela vyjasněno, jaká je konkrétní odezva dílčích složek fotosyntetických procesů na tento faktor. Studovali jsme vliv dlouhodobého vystavení mladých stromků buku a smrku zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> na účinnost primárních fotosyntetických procesů v listech, a to pomocí *in situ* měření rychlé fáze indukce chlorofylové fluorescence (OJIP křivka) a *in vitro* měření aktivit fotosystémů 1 a 2 v suspenzích izolovaných chloroplastů. Naše výsledky ukázaly, že a) zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> může mít negativní vliv na účinnost elektron-transportních procesů v tylakoidních membránách; b) tento efekt se projevuje především u osluněných listů, nikoli u zastíněných listů; c) mladé listy (měření v červnu / červenci) jsou více ovlivněny než dospělé či stárnoucí listy (měření v srpnu / říjnu).

*Klíčová slova: Fagus sylvatica, fluorescence chlorofylu, fotochemická aktivita izolovaných chloroplastů, fotosystémy 1 a 2, ozáření, Picea abies, stáří listu, zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub>,*

## **ÚVOD**

CO<sub>2</sub> je v současnosti nejvýznamnějším skleníkovým plynem, který výrazně přispívá k oteplování atmosféry a globální změně klimatu. Lesy mají hlavní potenciál ke snižování atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub> a hrají v regulaci klimatu klíčovou roli /9/. Zároveň jsou však fyziologické procesy (především transpirace, respirace a fotosyntéza) lesních dřevin zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> v atmosféře ovlivněny výrazněji než u bylin /1/. Při současné koncentraci CO<sub>2</sub> v atmosféře je tento skleníkový plyn pro rostliny limitujícím substrátem a nárůst jeho

množství v ovzduší je tedy pro fotosyntézu příznivý /7, 10/. Průměrný nárůst rychlosti světlem saturevané fotosyntetické asimilace ( $A_{max}$ ) bývá u stromů kolem 50 % /1/. Ovlivnění fotosyntézy zvýšenou koncentrací  $CO_2$  je však velmi komplexní reakcí, o níž zdaleka není všechno známo. Zatímco vliv zvýšeného množství  $CO_2$  na aktivitu enzymu Rubisco a produkci asimilátů je u lesních stromů již poměrně dobře prostudován /1, 2/, odezva jednotlivých částí primárních fotosyntetických procesů na tento faktor zůstává stále spíše na okraji pozornosti a výsledky prací, které na toto téma ve vědecké literatuře existují, se často vzájemně liší. V rámci komplexního projektu zaměřeného na studium vlivu zvýšené koncentrace  $CO_2$  na vztah mezi fotosyntetickou účinností a strukturou listů dvou vybraných druhů lesních stromů mírného pásma jsme se proto rozhodly zaměřit právě na detailní analýzu elektron-transportního řetězce tylakoidních membrán (především obou fotosystémů).

## MATERIÁL A METODY

Stromky smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karsten) a buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) byly pěstovány ve dvou lamelových kultivačních sférách na experimentálním pracovišti Centra výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bílý Kříž v Moravskoslezských Beskydech (49° 30' 17" s.š., 18° 32' 28" v.d., 908 m.n.m.) /14/. Jedna sféra byla sycena  $CO_2$  tak, aby jeho koncentrace ve vzduchu dosahovala  $700 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , v druhé sféře byly stromy pěstovány při normální koncentraci  $CO_2$  ( $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Stromky byly do sfér umístěny v r. 2005, měření a odběry probíhaly v letech 2010-2012, a to vždy na konci června a začátku srpna (buk) a na konci července a začátku října (smrk). V každém roce jsme hodnotily 10-15 stromů od každého druhu v každé sféře, přičemž jsme analyzovaly zvlášť osluněné a zastíněné listy rostoucí na větvích na jižní straně stromů.

Rychlou fázi indukce chlorofylové fluorescence (OJIP křivku) jsme měřily *in situ* na svrchní straně listů pomocí přenosného fluorometru FluorPen FP100max (PSI, ČR), přičemž listy byly před měřením zatemněny 20-30 min. Časové rozmezí měření bylo 10  $\mu\text{s}$  až 2 ms, intenzita saturačního pulzu byla  $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Z každého stromu jsme měřily jeden osluněný a jeden zastíněný list, vždy ve 4 technických opakováních, jejichž hodnoty jsme pak zprůměrovaly. Jednotlivé parametry vypovídající o tocích energie, kvantových výtěžcích a účinnostech absorpce záření světlosběrnou anténou PS2, primární fotochemie až po redukci  $Q_A$ , transportu elektronů z  $Q_A^-$  k akceptorům mezi oběma fotosystémy, a redukce koncových akceptorů elektronů na akceptorové straně PS1, jsme počítaly z OJIP křivky podle /12/ a /13/.

Aktivity PS1 a PS2 v suspenzích izolovaných chloroplastů jsme měřily polarograficky pomocí Clarkovy kyslíkové elektrody po jejich ozáření a přidání umělých akceptorů a donorů elektronů. Chloroplasty II. třídy byly v případě buku izolovány postupem popsáným v práci /5/ s tím, že homogenizace byla prodloužena na 1 min, v případě smrku byl použit postup popsáný v práci /6/; v této práci je také podrobně popsán postup vlastního měření aktivit PS1 a PS2. Měřily jsme vždy 4 nezávislá biologická opakování od každé varianty (směsné vzorky listů ze 2-3 stromů), každý z těchto vzorků jsme změřily ve 2-4 technických opakováních, jejichž hodnoty jsme pak zprůměrovaly.

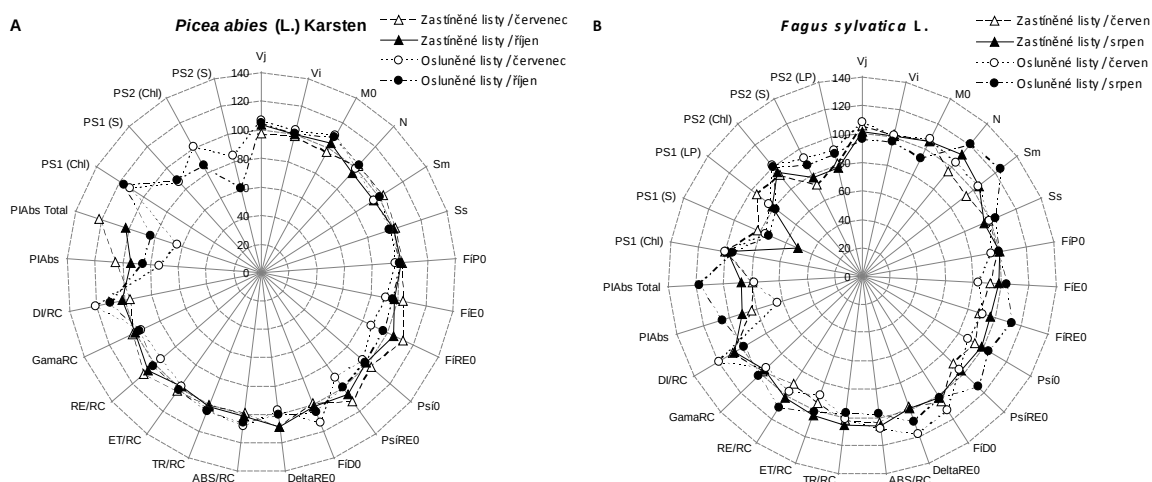
Výsledky jsme statisticky zhodnotily analýzou variance a LSD testem (kritická hladina statistické průkaznosti 0,05) za pomoci programu CoStat 6.204 (CoHort Software, USA).

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Opakovaná měření prováděná ve třech po sobě následujících letech ukázala, že i když se absolutní hodnoty parametrů v jednotlivých letech samozřejmě do určité míry lišily, trendy rozdílů mezi konkrétními pokusnými variantami (zvýšená vs normální koncentrace  $CO_2$ , osluněné vs zastíněné listy, mladší vs starší listy) zůstávaly vesměs stejné. V tomto článku tedy prezentujeme výsledky společné analýzy všech tří let. Veškerá výchozí data spolu s jejich statistickým zpracováním jsou k dispozici na pracovišti autorek článku.



Z analýzy parametrů odvozených z OJIP křivky indukce chlorofylové fluorescence vyplynulo, že dlouhodobé vystavení mladých stromků smrku (Graf 1A) i buku (Graf 1B) zvýšené koncentraci  $\text{CO}_2$  negativně ovlivňuje účinnost jejich primárních fotosyntetických procesů, a to zejména spojených s PS2 (pokles hodnot parametrů  $\phi_{P0}$ ,  $\phi_{E0}$ ,  $\psi_0$ ), ale i celého elektron-transportního řetězce (parametry  $\phi_{RE0}$ ,  $\psi_{RE0}$ ). Rovněž celkové performanční indexy ( $\text{PI}_{\text{Abs}}$ ,  $\text{PI}_{\text{Abs}}^{\text{Total}}$ ) se snížily. Naproti tomu hodnoty parametrů spojených s velikostí světlosběrné antény v poměru k reakčnímu centru a s disipací přebytečné energie ( $\phi_{D0}$ ,  $\delta_{RE0}$ ,  $\text{ABS/RC}$ ,  $\text{DI/RC}$ ) vlivem zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  vzrostly. Všechny uvedené odezvy však byly statisticky průkazné až na výjimky pouze u osluněných listů, a to především u listů mladších (měření v červnu / červenci). Je tedy zřejmé, že odezva primárních fotosyntetických procesů probíhajících v zastíněných a osluněných listech na zvýšení množství  $\text{CO}_2$  v atmosféře se výrazně liší. Něco podobného pozorovali např. i autoři studie /11/, kteří u zastíněných jehlic smrku ztepilého dokonce popsali pozitivní vliv zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$ ; je možné, že v našem případě (kdy jsme nepozorovaly u zastíněných listů žádné rozdíly oproti variantám ze sféry s normální koncentrací  $\text{CO}_2$ ) se již projevilo delší vystavení stromů tomuto faktoru. Kratší délka působení zvýšeného množství  $\text{CO}_2$  ve vzduchu může být také důvodem toho, proč mnozí autoři, kteří na základě měření parametrů chlorofylové fluorescence v minulosti popisovali odezvu primárních fotosyntetických procesů na tento faktor, nepozorovali jejich průkazné ovlivnění zvýšenou koncentrací  $\text{CO}_2$  (např. /3, 4, 8/).



**Graf 1:** Odezva primárních fotosyntetických procesů v listech smrku ztepilého (A) a buku lesního (B), hodnocená na základě parametrů odvozených z OJIP křivky fluorescenčního indukčního jevu (detailní popis jednotlivých parametrů viz /12/ a /13/) a měření fotochemické aktivity PS1 a PS2 v suspenzích izolovaných chloroplastů (Chl ... přepočet na jednotkové množství chlorofylu, S ... přepočet na jednotku hmotnosti sušiny, LP ... přepočet na jednotku listové plochy). Hodnoty jsou vyjádřeny jako procenta hodnot zjištěných u odpovídajících variant pěstovaných při normální koncentraci  $\text{CO}_2$ .

Měření aktivit PS1 a PS2 v izolovaných chloroplastech v *in vitro* podmínkách poskytla doplňující výsledky. V tomto případě byl negativní efekt zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  na primární fotosyntetické procesy výraznější u zastíněných listů buku (Graf 1B), což je pravděpodobně způsobeno tím, že u těchto listů došlo k mnohem většímu poklesu množství chlorofylu v listech, což se pak odrazilo při přepočtu aktivit PS1 a PS2 na jednotku plochy listu či hmotnosti sušiny (u osluněných listů jsme pokles aktivit také pozorovali, vzhledem k větší variabilitě tohoto typu vzorků však nebyl statisticky průkazný).

Závěrem lze konstatovat, že dlouhodobé vystavení stromů zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> v součinnosti s dalšími negativními faktory (vyšší ozáření, mladší listy, u nichž dosud nemusejí být plně vyvinuté ochranné mechanismy) negativně ovlivňuje fotosyntetický elektron-transportní řetězec, a to jak PS1, tak PS2. Měření fluorescence chlorofylu a měření aktivit fotosystémů v suspenzích izolovaných chloroplastech se vhodným způsobem doplňují a poskytují ucelenější pohled na reakci primárních fotosyntetických procesů na nárůst množství CO<sub>2</sub> v atmosféře.

#### LITERATURA

- /1/ Ainsworth, E.A., Long, S.P.: What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, 165, 2005: 351-371.
- /2/ Ainsworth, E.A., Rogers, A.: The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: mechanisms and environmental interactions. *Plant Cell and Environment*, 30, 2007: 258-270.
- /3/ Gielen, M., Jach, M.E., Ceulemans, R.: Effects of season, needle age, and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on chlorophyll fluorescence parameters and needle nitrogen concentration in Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Photosynthetica*, 38, 2000: 13-21.
- /4/ Grams, T.E.E., Matyssek, R.: Elevated CO<sub>2</sub> counteracts the limitation by chronic ozone exposure on photosynthesis in *Fagus sylvatica* L.: Comparison between chlorophyll fluorescence and leaf gas exchange. *Phyton*, 39, 1999: 31-40.
- /5/ Holá, D., Langrová, K., Kočová, M., Rothová, O.: Photosynthetic parameters of maize (*Zea mays* L.) inbred lines and F<sub>1</sub> hybrids: their different response to, and recovery from rapid or gradual onset of low-temperature stress. *Photosynthetica*, 41, 2003: 429-442.
- /6/ Holá, D., Kočová, M., Rothová, O., Hlízová, E., Fridrichová, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J.: A universal method for the isolation of photochemically active broken chloroplasts from conifer needles and its possible application in photosynthetic studies. *Photosynthetica*, 50, 2011: 291-304.
- /7/ Huang, J.G., Bergeron, Y., Denneker, B., Denneker, B., Berninger, F., Tardif, J.: Response of forest trees to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26, 2007: 265-283.
- /8/ Kellomäki, S., Wang, K.Y.: Effects of elevated O<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> on chlorophyll fluorescence and gas exchange in scots pine during the third growing season. *Environmental Pollution*, 97, 1997: 17-27.
- /9/ Körner, C.: Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*, 91, 2003: 4-17.
- /10/ Leakey, A.D.B., Ainsworth, E.A., Bernacchi, C.J., Rogers, A., Long, S.P., Ort, D.R.: Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2009: 2859-2876.
- /11/ Marek, M.V., Šprtová, M., Urban, O., Špunda, V.: Chlorophyll a fluorescence response of Norway spruce needles to the long-term effect of elevated CO<sub>2</sub> in relation to their position within the canopy. *Photosynthetica*, 39, 2001: 437-445.
- /12/ Stirbet, A., Govindjee: On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll *a* fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104, 2011: 236-357.
- /13/ Strasser, R.J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M.: The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (eds). *Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation*, London: Taylor & Francis, 2000: 445-483.
- /14/ Urban, O., Janouš, D., Pokorný, R., Marková, I., Pavelka, M., Fojtík, Z., Šprtová, M., Kalina, J., Marek, M.V.: Glass domes with adjustable windows: A novel technique for exposing juvenile forest stands to elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Photosynthetica* 39, 2001: 395-401.

#### Poděkování

Práce vznikla za finanční podpory grantu P501/10/0340 GAČR, výzkumného záměru MSM0021620858 MŠMT a projektu SVV 2012-265202 GAUK. Děkuje rovněž Zuzaně Kubínové, Petře Maškové, Hance Ševčíkové, Janě Horské a Anně Vrbové z katedry experimentální biologie rostlin PřF UK v Praze a Barboře Radochové z Fyziologického ústavu AV ČR, v.v.i., za pomoc při odběru vzorků, a mnoha kolegům z Centra výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., za možnost využití infrastruktury na Bílém Kříži.

**HODNOTENIE ZMIEN EFEKTÍVNEHO KVANTOVÉHO VÝŤAŽKU  
PREMENY FOTOCHÉMICKÉJ ENERGIE V PSII  
A CHLOROFYLOVÉHO INDEXU PRE ROZDIELNE PROVENIENCIE  
BUKA OVPLYVNENÉ VODNÝM DEFICITOM A NÁSLEDNÝM  
ZAVLAŽENÍM**

**ASSESSMENT OF CHANGES IN THE ACTUAL QUANTUM EFFICIENCY OF PSII AND  
CHLOROPHYLL INDEX FOR DIFFERENT BEECH PROVENANCES AFFECTED BY  
WATER DEFICIT AND RE-WATERING**

Gabriela Jamnická, Ľubica Ditmarová, Jana Majerová, Eva Pšidová  
Slovenská akadémia vied, Ústav ekológie lesa vo Zvolene, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, Slovak  
Republic, jamnicka@sav.savzv.sk

**Summary**

Water stress resistance and resilience of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings of three Slovak provenances: PV1, PV2 and PV3 were tested in a pot experiment. The experiment was carried out in controlled conditions in the laboratory, in August 2012. The seedlings were deprived of water for 8 days, and exhibited very low water potential values in leaves –reflecting a severe drought. Then they were re-irrigated with the purpose to inspect their resilience. The differences in response between the contrast provenances were detected at the biochemical level – through the values of total chlorophyll content (chlorophyll index); and at the photo-chemical level through the values of chlorophyll *a* fluorescence (effective quantum yield of PSII). The provenance PV2 originated in the „optimum“ beech territory was manifested in general as the most viable under the control conditions. However, under the water stress this provenance manifested major changes at both biochemical and photochemical level. In contrast, the highest resistance against drought stress was recorded in the provenance PV1 with origin in low situated localities in dry climate district in Slovakia.

*Key words: effective quantum yield of PSII, chlorophyll index, beech provenances, re-watering, water stress*

**Souhrn**

V kontrolovaných laboratórnych podmienkach bol v auguste 2012 zrealizovaný nádobový experiment so semenáčikmi buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) pochádzajúcimi z troch rozdielnych slovenských proveniencií: PV1, PV2 a PV3. Semenáčiky boli pestované 8 dní bez zavlažovania, keď bol zaznamenaný na základe hodnôt vodného potenciálu listov silný stres zo sucha. Následne bolo prevedené opätovné zavlaženie za účelom sledovania resiliencie semenáčikov. Rozdiely v reakciách kontrastných proveniencií boli detekované na biochemickej úrovni prostredníctvom celkového obsahu chlorofylov (chlorofylový index), ako aj na úrovni fotochemickej prostredníctvom parametra fluorescencie chlorofylu *a* (efektívny kvantový výťažok PSII). PV2 pochádzajúca z oblasti „optima“ pre buk bola celkovo najvitalnejšia proveniencia v kontrolných podmienkach, avšak v podmienkach vodného stresu bola u nej zaznamenaná najväčšia miera zmien na úrovni biochemickej aj fotochemickej. Naopak, najväčšia rezistencia voči stresu zo sucha bola zaznamenaná u PV1 pochádzajúcej z najnižších nadmorských výšok a oblasti suchšej klímy Slovenska.

*Kľúčové slová: efektívny kvantový výťažok PSII, chlorofylový index, bukové proveniencie, vodný stres*

## ÚVOD

Aktuálnou otázkou súčasnosti, v súvislosti s čoraz častejšie sa vyskytujúcimi periódami sucha v strednej Európe, sa stáva výskum drevín a proveniencií, ktoré budú schopné tolerovať vodný stres a budú môcť byť využívané v lesníckej praxi /1/.

Cenné informácie o prispôsobení sa rastlín suchu môžu byť získané prostredníctvom obsahov a zastúpenia fotosyntetických pigmentov, ktoré sú nevyhnutné vzhľadom na kontrolu absorpcie (svetlozberné systémy) a disipácie energie v rastlinách /2, 3/. Chlorofylový index ako bezrozmerná veličina /4/ poskytuje jednoduchšiu, ale rýchlu a nedeštruktívnu alternatívu stanovenia celkového obsahu chlorofylov v asimilačných orgánoch rastlín /5/. Foto-oxidácia a degradácia chlorofylov spôsobená vplyvom stresu významnou mierou súvisí so zmenami na úrovni fotosystémov, vrátane rýchlosti fotosyntézy, fluorescencie chlorofylu *a* a disipácie prebytočnej energie.

## MATERIÁL A METODA

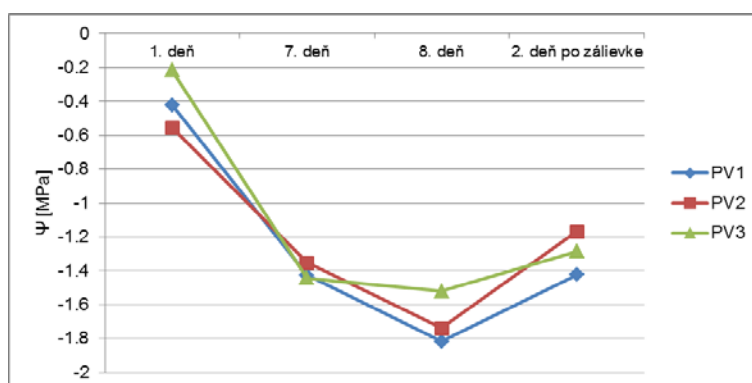
Experiment so semenáčikmi buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) bol realizovaný ako nádobový a prebiehal v laboratórnych kontrolovaných podmienkach (65% vlhkosť, 23-23.5°C teplota, svetelný režim deň/noc: 4 vysokotlakové výbojky LU400PSL/T/E40) po dobu 10 dní (7.8. -16.8 2012). Semenáčiky pochádzali z troch kontrastných klimatických oblastí, označené ako proveniencie: PV1 (530 m n.m., suchšia klíma), PV2 (625 m n.m., stredne vlhká klíma) a PV3 (1250 m n.m., vlhká klíma). Semenáčiky boli pestované v plagoch, pričom jeden plag obsahoval 35 jedincov a každá proveniencia bola zastúpená 4 plagmi. Na začiatku experimentu boli prevedené kontrolné merania (K) a následne bolo prerušené zavlažovanie semenáčikov za účelom dosiahnutia podmienok vodného deficitu (S1, S2, S3). Po 8 dňoch bez zálievky boli semenáčiky zaliate za účelom zhodnotenia opätovného zotavenia sa po období trvania stresu (R).

Počas experimentu boli zaznamenávané hodnoty vodného potenciálu listov ( $\Psi$ ) pomocou prístroja PSYPRO (Wescor, USA). Zmeny v parametri chlorofylový index (Chl I) boli zaznamenávané prenosným chlorofyl-metrom CL-01 (Hansatech, Kings Lynn, UK). Efektívnosť premeny fotochemickej energie vo fotosystéme PSII ( $\Phi_{PSII}$ ) bola hodnotená prostredníctvom fluorimetra MINI-PAM (Walz, Germany), pri svetelných podmienkach 600-800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Údaje boli vyhodnotené analýzou variancie ANOVA a post-hoc Tukey testom so zaznamenaním rozdielov na hladine významnosti  $p < 0.05$ .

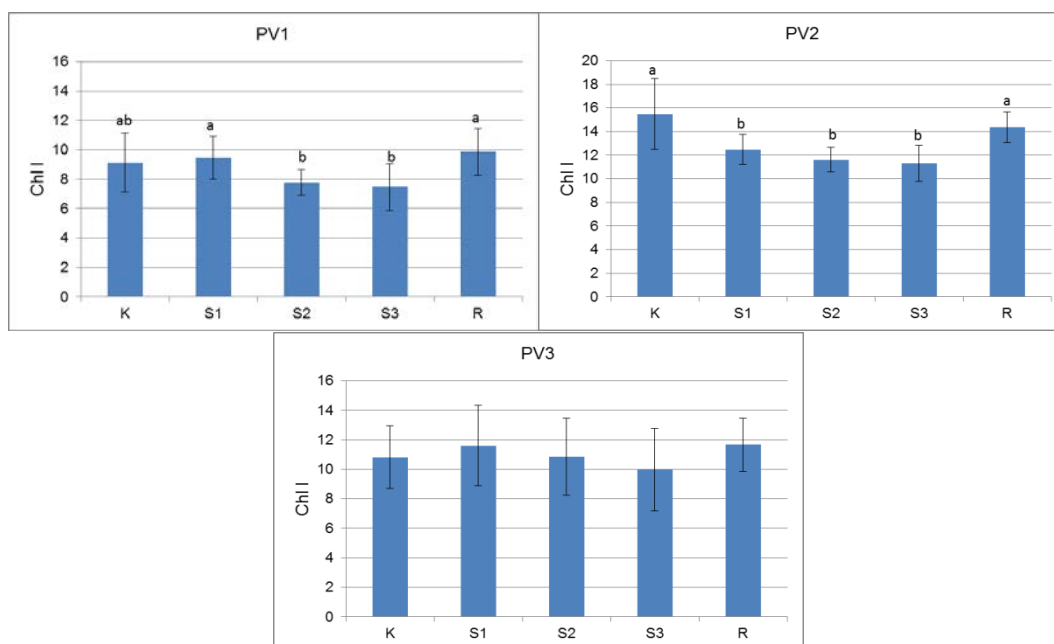
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Na grafe 1 možno sledovať postupujúcu dehydratáciu semenáčikov buka prostredníctvom zmien  $\Psi$  hodnôt. Na siedmy deň bez zálievky hodnoty vodného potenciálu oscilovali okolo -1,4 MPa. Na ôsmy deň boli dosiahnuté priemerné hodnoty -1,52 MPa u PV3; -1,74 MPa u PV2 a -1,82 MPa u PV1, indikujúce už hladinu silného stresu /6/. Pri danej hladine stresu bola zistená aj mortalita, a to 4,3% pri PV3 a 5,7% pri PV2. Semenáčiky z proveniencie PV1 mali 0% mortalitu. Na druhý deň po opätovnej zálievke (10. deň experimentu) sa  $\Psi$  hodnoty začali výrazne zvyšovať, čo svedčí o ustupujúcom strese zo sucha.



Graf 1: Priebeh hodnôt vodného potenciálu v asimilačných orgánoch bukových semenáčikov počas experimentu.

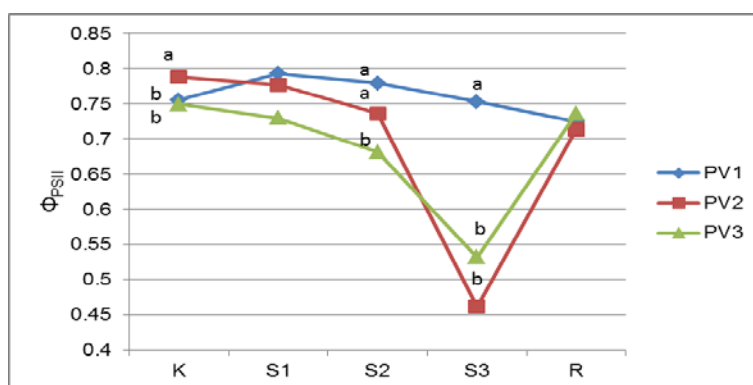
Ako dokumentuje graf 2 (a, b, c), Chl I sa počas trvania dehydratácie významne znížil (11,5) v porovnaní s kontrolou (15,5) u PV2, zatiaľ čo u PV3 neboli zaznamenané žiadne štatisticky významné rozdiely. Významnosť poklesu obsahov chlorofylu u PV1 nie je tak jednoznačná, keďže štatisticky významné rozdiely boli potvrdené medzi obdobím s výrazným stresom (S2, S3) a obdobím po opätovnom zaliatí (R), avšak rozdiely medzi kontrolou a výrazným stresom neboli štatisticky preukazné. Strata obsahov chlorofylov v súvislosti s vodným stresom je považovaná za hlavnú príčinu inaktívácie fotosyntézy a relatívny obsah chlorofylov má pozitívnu väzbu na rýchlosť fotosyntézy [7, 8].



Graf 2: Hodnoty celkového obsahu chlorofylu vyjadrené ako chlorofylový index v závislosti na variante experimentu u troch rozdielnych proveniencií: PV1 (a), PV2 (b), PV3 (c). K-kontrola, S1-S3-postupujúci stres suchom, R-stav po opätovnej zálievke. Malé písmená indikujú významnosť rozdielov medzi variantmi ( $p < 0.05$ ).

Na redukciu otvorených reakčných centier v PSII pod vplyvom stresových podmienok možno usudzovať na základe klesajúcich hodnôt efektívneho kvantového výťažku premeny fotochemickej energie v PSII (graf 3). Tento najvýraznejšie poklesol na 8. deň dehydratácie

u PV2 (0,46). Po opätovnej hydratacii bola efektívnosť systémov obnovená až na úroveň hodnôt 0,70-0,75. Proveniencia PV1 z najnižších nadmorských výšok reagovala najmenej citlivo na stres suchom, dokonca v podmienkach mierneho stresu (S1, 3. deň dehydratácie) zvýšila efektívnosť premeny energie v PSII. Hodnoty  $\Phi_{PSII}$  potom pozvoľne klesali, avšak ani v období najväčšieho deficitu neklesli pod úroveň hodnôt v kontrole. Proveniencia z najväčších nadmorských výšok PV3 vykazuje celkovo v kontrolných podmienkach a podmienkach miernejšieho vodného deficitu najnižšie hodnoty  $\Phi_{PSII}$ , čo môže súvisieť s jej adaptáciou na chladnejšiu klimatickú oblasť. Z hľadiska resiliencie po opätovnom zavlažení bolo 95,7% semenáčikov z PV3 schopné sa „vrátiť“ na kontrolné hodnoty  $\Phi_{PSII}$ . Pri PV2 bolo schopné 94,3% semenáčikov po dvoch dňoch zalievania zvýšiť hodnoty  $\Phi_{PSII}$ , ale nedosiahli ešte úroveň kontroly (0.79).



Graf 3: Zmeny efektívneho kvantového výťažku premeny fotochemickej energie v PSII v priebehu experimentu u troch rozdielnych proveniencií. K-kontrola, S1-S3-postupujúci stres suchom, R-stav po opätovnej zálievke. Malé písmená indikujú významnosť rozdielov medzi provenienciami ( $p < 0.05$ ).

Na základe daných výsledkov možno konštatovať, že na simulovaný stres suchom najrýchlejšie reagovala proveniencia PV2 z podmienok tzv. optima buka. Na začiatku pokusu disponovala najvyšším obsahom chlorofylu a najvyššími hodnotami efektívneho kvantového výťažku. Avšak počas postupujúceho vodného deficitu bol u nej zaznamenaný najvýraznejší pokles obidvoch parametrov a súčasne najvyššia mortalita semenáčikov. PV3 reaguje miernejšie na stres spôsobený suchom v porovnaní s PV2. Celkovo na stres najmenej „vnímavejšia“ bola proveniencia PV1. Možno usudzovať, že PV2 v optimálnych podmienkach nie je v takej miere adaptovaná na stresory prostredia ako proveniencie z najnižších a najvyšších nadmorských výšok.

## LITERATURA

- /1/ Bredemeier, M., Cohen, S., Godbold, D.L., Lode, E., Pichler, V., Schleppi, P. (Eds.): Forest management and the water cycle. An Ecosystem-Based Approach. Ecological Studies, 212, 2011, Springer, pp. 531
- /2/ Adams, W.W. III., Demmig-Adams, B., Rosenstiel, T.N., Brightwell, A.K., Ebbert, V.: Photosynthesis and photoprotection in overwintering plants. Plant Biology 4, 2002: 545-557
- /3/ Baquedano, F.J., Castillo, F.J.: Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the Mediterranean water-saver *Pinus halepensis* and water-spenders *Quercus coccifera* and *Quercus ilex*. Trees, 20, 2006: 689-700
- /4/ Cassol, D., Silva, F.S.P., Falqueto A.R., Bacarin, M.A.: An evaluation of non-destructive methods to estimate total chlorophyll content. Photosynthetica 46, 2008: 634-636

- /5/ van den Berg, A. K., Perkins, T. D.: Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. *Forest Ecology and Management* 200, 2004: 113-117
- /6/ Masarovičová, E., Repčák, M., Erdelský, K., Gašparíková, O., Ješko, T., Mistrik, I.: *Fyziológia rastlín*. Univerzita Komenského, Bratislava, 2002, pp. 303
- /7/ Anjum, S.A., Xia-yu, X., Long-chang, W., Muhammad, F.S., Chen, M., Wang, L.: Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2011: 2026-2032
- /8/ Sadeghipour, O., Aghaei, P.: Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to exogenous application of salicylic acid (SA) under water stress conditions. *Advances in Environmental Biology*, 6(3), 2012: 1160-1168

### **Poděkování**

Uvedená práce vznikla za finančnej podpory grantov: APVV-0436-10 a VEGA-2/0006/11.

## **ZMENY TEPLOTY LISTOV SADENÍC BUKA RÔZNYCH PROVENIENCIÍ AKO REAKCIA NA VODNÝ DEFICIT**

### ***TEMPERATURE CHANGES OF BEECH SEEDLINGS LEAVES IN DIFFERENT PROVENANCES AS RESPONSE TO WATER DEFICIT***

Andrej Majdák, Miroslav Blaženec, Rastislav Jakuš, Michaela Gondová

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, <http://www.savzv.sk>,  
majdak@savzv.sk

#### ***Summary***

The study is focused on investigating sensitivity of response to water deficit in European beech seedlings of three different provenances, manifested by temperature changes of their leaves. The experiment was carried out in environmental chamber with controlled climate. The seedlings of each provenance were differentiated into two variants: one irrigated regularly, the other exposed to drought stress due to no irrigation. The data were collected using a thermographic camera. According to the obtained results, all three studied provenances demonstrate well-defined response to drought stress by increasing temperature of their assimilatory organs.

*Key words: Fagus sylvatica L., water stress, transpiration rate, thermography*

#### ***Súhrn***

Práca sa zaoberá problematikou vplyvu vodného deficitu na zmenu teplôt listov sadeníc buka lesného troch rôznych proveniencií. Experiment prebiehal v klimatizovanej komore s kontrolovaným režimom podmienok prostredia. Sadenice boli rozdelené do dvoch variant pre každú provenienciu, kde prvý variant bol pravidelne zavlažovaný, zatiaľ čo v druhom bol stres suchom zabezpečený vyradením zálievky. Na zber teplotných dát bola použitá termografická kamera. Z vyhodnotených výsledkov vyplýva, že všetky tri sledované proveniencie sadeníc buka výrazne reagovali na sucho zvýšením teploty asimilačných orgánov.

*Kľúčové slová: Fagus sylvatica L., vodný stres, transpirácia, termografia*

## **ÚVOD**

Teplota asimilačných orgánov rastlín je dôležitým kritériom v monitorovaní deficitu vody v rastlinách a ich reakcií na suchu. Zdravá rastlina, ktorá netrpí deficitom vody by mala ochladzovať svoje pletivá transpiračným prúdom, ktorý pôsobí ako termoregulačný činiteľ.

Z uvedeného vyplýva, že poznanie teploty asimilačných orgánov rastlín a podmienok prostredia nám dá odpoveď na stav vodného stresu. Taktiež je dôležité poznať aj schopnosť jednotlivých druhov rastlín, resp. proveniencií reagovať na stres spôsobený suchom.

Pri plánovaní experimentu so sadenicami buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) sme vychádzali z prác venujúcich sa využitiu termografie pri návrhu zavlažovania poľnohospodárskych plodín /1/. Termografiu je taktiež možné využiť na určenie zdravotného stavu rastlín na základe teploty listov /2/.

Práce vychádzali z poznania teplôt asimilačných orgánov a stanovenia tzv. CWSI (Crop Water Stress Index). Pri jednom z prístupov určenia daného indexu bol použitý pomer teploty asimilačného orgánu a teploty vzduchu k slnečnej radiácii, rýchlosti vetra a sýtosťného



doplňku /3/. V druhom prístupe sa index vypočítal z teploty listov a dvoch referenčných teplôt – teplota plne transpirujúceho listu a teplota netranspirujúceho listu /4/.

Termokamerou možno efektívne skúmať tepelné charakteristiky listov, a odvodzovať tak kondíciu rastliny prípadne zdravotný stav. Neinvazívny, bezkontaktný a časovo nenáročný zber dát s možným vizuálnym vyhodnotením nameraných údajov priamo na mieste experimentu sú hlavné výhody termovíznej metódy.

Keďže ide v našom prípade o experiment v klimatickej komore s kontrolovaným režimom vlhkosti a teploty prostredia, svetelných podmienok a cirkulácie vzduchu, nebolo potrebné stanovovať CWSI index. Samotná teplota bude dostatočným indikátorom stanovenia stresu bukových semenáčikov a ich reakcie na sucho v závislosti od rôznych proveniencií.

## MATERIÁL A METÓDY

Nádobový experiment so semenáčikmi buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) prebiehal od 7. do 14. augusta 2012. Semenáčiky pochádzali z rôznych proveniencií s označením PV1, PV2 a PV3. Proveniencia PV1 bola zastúpená semenáčikmi z oblasti Divín (530 m.n.m.), PV2 z oblasti Dobšiná (625 m.n.m.) a PV3 z oblasti Brezno (1 250 m.n.m.).

Semenáčiky boli pestované v plagoch, pričom jeden plag obsahoval 35 jedincov. Každá proveniencia bola zastúpená 4 plagmi v dvoch variantoch – variant SUCHO a variant KONTROLA.

Experiment bol realizovaný v klimatickej komore (3,5m x 2,6m) s kontrolovaným režimom vlhkosti (cca 65%), teploty (cca 23 - 23,5 °C), svetelných podmienok a cirkulácie vzduchu. Na zabezpečenie konštantných svetelných podmienok boli použité 4 vysokotlakové výbojky LU 400PSL/T/E40. Denný svetelný režim bol rozdelený na 4 etapy. Od 6:00 do 8:00 svietili 2 žiarivky, od 8:00 do 16:00 svietili 4 žiarivky, od 16:00 do 18:00 svietili 2 žiarivky a od 18:00 do 6:00 nesvietila ani jedna žiarivka.

Stres suchom bol zabezpečený vyradením zálievky vo variante SUCHO, a to do 14. augusta. Variant KONTROLA bol pravidelne zalievaný 8., 10., 13. a 14. augusta.

Snímanie teplôt bolo realizované termokamerou typu WH-8, s nechladeným FPA mikrobolometrom, s rozlíšením 384 x 288 bodov. Rozsah snímaného spektra 8-14 μm a tepelná citlivosť pri 30 °C je udávaná výrobcom cca 0,08 °C.

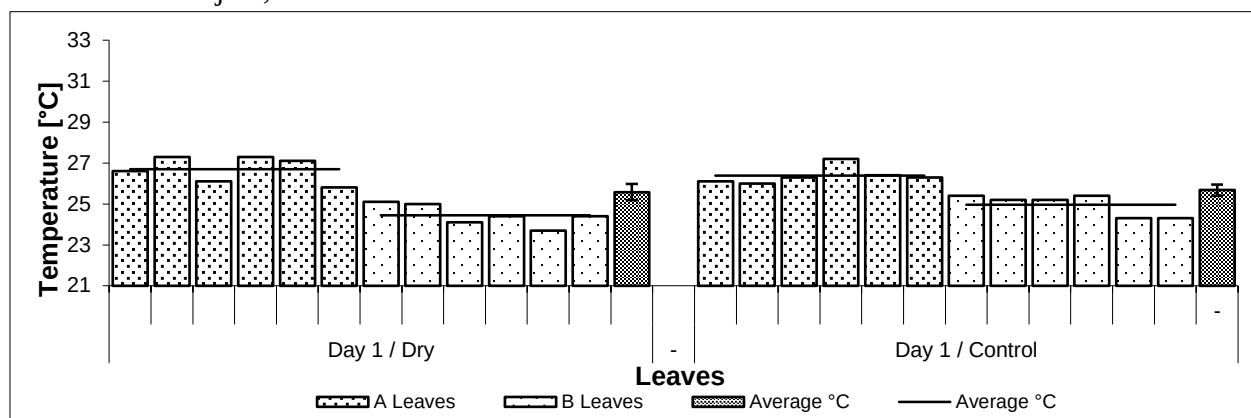
Termovízne snímkovanie bolo realizované 7. a 14. augusta pre každý jeden plag sadeníc. V programe IR-Analyser boli pre každý plag vyseletovali listy (6 juvenilných a 6 dospelých), ktorých teploty sa následne štatisticky hodnotili v programe Microsoft Excel. Hodnotený bol 1. a 7 deň pre obe varianty a pre každú provenienciu zvlášť.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

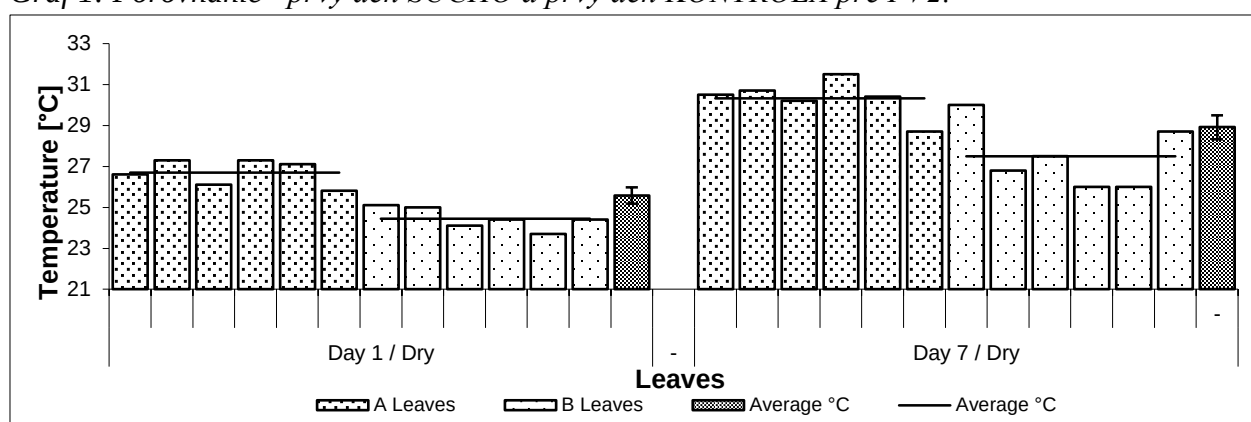
Namerané hodnoty teplôt boli posudzované vo variantoch SUCHO (kde je predpoklad stresu z vodného deficitu najvyšší) aj KONTROLA, a to v 1. a 7. deň experimentu. Hodnotené boli juvenilné listy (A) a dospelé listy (B).

Ako je evidentné z grafu č. 1, štartovacia pozícia pre provenienciu č.2 z oblasti Dobšiná je ako aj pre variant SUCHO, tak aj pre KONTROLU bez výraznejších odchýlok. Priemerná hodnota A listov pre variant SUCHO je 26,7 °C a pre variant KONTROLA 26,4 °C. Priemerná hodnota B listov pre SUCHO je 24,5 °C a pre KONTROLU 25 °C. Pri štatistickom porovnaní ako aj listov A, tak aj B, sucho voči kontrole, vyšiel štatisticky nevýznamný

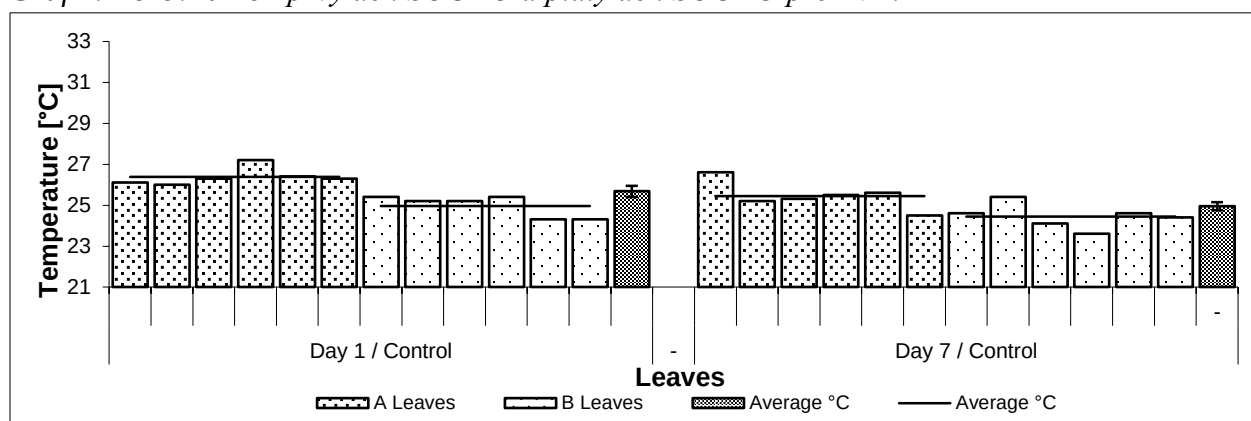
výsledok (A listy  $P=0,48$ , B listy  $P=0,12$ ). Celkový rozdiel priemerných hodnôt za SUCHO a KONTROLA je  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Graf 1: Porovnanie - prvý deň SUCHO a prvý deň KONTROLA pre PV2.



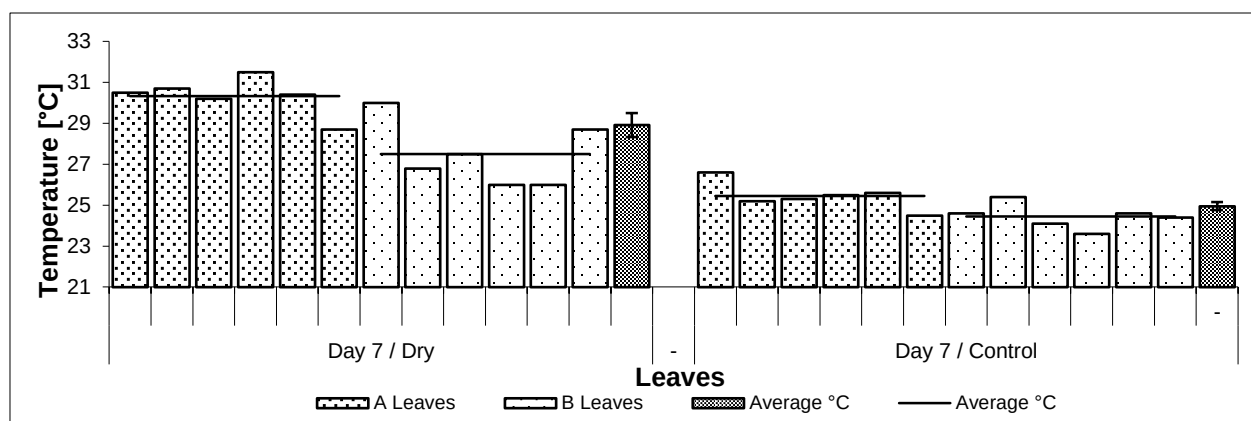
Graf 2: Porovnanie - prvý deň SUCHO a piaty deň SUCHO pre PV2.



Graf 3: Porovnanie - prvý deň KONTROLA a piaty deň KONTROLA pre PV2.

V grafe č. 2 sú uvedené hodnoty pre variant SUCHO v 1. a 7. deň experimentu. Výsledok nárastu teplôt je vysoko štatisticky významný (A listy  $P=0,0002$ , B listy  $P=0,001$ ). Pre A listy narástla priemerná teplota z  $26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $30,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a pre B listy z  $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Celkový rozdiel priemerných hodnôt je  $3,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Podobne sa v grafe č. 3 zhodnotil variant KONTROLA v 1. a 7. deň. Podľa očakávania nenastali výraznejšie odchýlky v rozdieloch priemerov. Pre A listy je priemerná hodnota  $26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a pre B listy  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Výsledok je štatisticky významný pre A listy ( $P=0,002$ ) a štatisticky nevýznamný pre B listy ( $P=0,26$ ). Celkový rozdiel priemerných hodnôt je  $0,73\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Graf 4: Porovnanie - piaty deň SUCHO a piaty deň KONTROLA pre PV2.

V grafe č. 4 sú uvedené hodnoty v posledný deň (pred zálievkou) pre variant SUCHO aj KONTROLA. Rozdiel priemerných hodnôt pre A listy je 4,8 °C (SUCHO 30,3 °C a KONTROLA 25,5 °C) a pre B listy 3 °C (SUCHO 27,5 °C a KONTROLA 24,5 °C). V oboch prípadoch je výsledok vysoko štatisticky významný (A listy  $P=0,0000007$ , B listy  $P=0,002$ ). Celkový rozdiel priemerných hodnôt za SUCHO a KONTROLA je 3,97 °C.

V prípade proveniencií PV1 a PV3 neboli použiteľné varianty KONTROLA, kde teplota asimilačných orgánov oscilovala a nemohla byť použitá pre štatistický výpočet. Pri variante SUCHO v 1. a 5. deň experimentu, však trend nárastu teplôt pokračoval podobne ako v proveniencii PV2. Pri porovnaní je výsledok nárastu teplôt pre dané dni vysoko štatisticky významný. Celkový rozdiel priemerných teplôt pre SUCHO v 1. a 5.deň pozorovania pri PV1 je 6 °C (A listy  $P=0,000003$ , B listy  $P=0,000000002$ ) a pre PV3 je 7,7 °C (A listy  $P=0,0000000000003$ , B listy  $P=0,000000000001$ ).

Z uvedených výsledkov vyplýva, že všetky proveniencie výrazne reagovali na sucho. Najvýraznejší nárast teplôt sme zaznamenali pre sadenice proveniencie PV3, čo môže byť dôsledkom toho, že pochádzali z hraničnej polohy prirodzeného rozšírenia buka lesného.

Pre zvýšenie presností výsledkov, máme v pláne v blízkej budúcnosti ďalšie merania so sadenicami buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) s rozšírením aj na smreka obyčajného (*Picea abies* L.). Aj napriek tomu že experiment prebiehal v prostredí s kontrolovaným režimom prostredia, plánujeme využiť aj určenie referenčných plôch pre výpočet indexu CSWI a zamerať sa viac na hodnotenie tienných asimilačných orgánov, ktoré sú reprezentatívnejšie [2/].

## LITERATÚRA

- /1/ Wang, X., Yang, W., Wheaton, A., Cooley, N., Moran, B.: Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: A first step towards automated plant water stress monitoring, *Computers and Electronics in Agriculture*, 73, 2010: 74–83.
- /2/ Jones, H. G.: Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine, *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002: 2249–2260.
- /3/ Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J.: Canopy temperature as a crop water stress indicator, *Water Resources Research*, 17, 1981: 1133–1138.
- /4/ Jones, H. G.: Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces, *Plant, Cell and Environment*, 22, 1999: 1043–1055.

## Pod'akovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Prognosticko-informačné systémy pre zvýšenie efektívnosti manažmentu, ITMS: 26220220109, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja a s podporou projektu APVV-0436-10.

## **POROVNANIE PRIEBEHU TEPLÔT KMEŇA A KORUNY DOSPELÝCH SMREKOV NA PORASTOVEJ STENE A VO VNÚTRI PORASTU**

### ***COMPARISON OF STEM AND CROWN TEMPERATURE COURSE OF MATURE NORWAY SPRUCE TREES ON FOREST EDGE AND IN FOREST INTERIOR***

Miroslav Blaženec, Andrej Majdák, Rastislav Jakuš, Michaela Gondová

Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, blazenec@savzv.sk

#### ***Summary***

An experiment comparing temperature course between a forest edge and the forest interior was carried out in a mature spruce forest stand. Inside the stand, there were inspected 5 dominant trees; at the forest edge created after clear-cut in 2011 there were chosen 5 vital trees and 5 trees dying attacked by bark beetles. Stem temperature was scanned with a thermo-camera at the stem base, and at heights of 1.3 and 4 m; the crown temperature was scanned by viewing the crown from beneath. The scanning was done bilaterally: on the sun-irradiated side and on the opposite, shaded one. We have detected distinct differences between the stand interior and the forest edge as well as between the vital and dying trees growing at the forest edge.

*Key words: Norway spruce, stem and crown temperature, forest edge, forest interior*

#### ***Súhrn***

Experiment za účelom porovnania priebehu teplôt na porastovej stene a vo vnútri porastu prebiehal v dospelom smrekovom poraste, kde bolo zvolených 5 úrovňových stromov vo vnútri porastu, 5 živých stromov a 5 odumierajúcich stromov po nálete podkôrneho hmyzu na porastovej stene, ktorá vznikla po ťažbe v roku 2011. Pomocou termokamery boli snímané teploty na báze stromu, vo výškach 1,3 a 4 m, a teplota koruny bola snímaná zospodu pohľadom do koruny. Teploty boli snímané z dvoch strán – zo strany, z ktorej svietilo slnko a z opačnej zatienenej strany. Bol zistený výrazný rozdiel medzi vnútrom porastu a porastovou stenou, ako aj medzi zdravými a odumierajúcimi stromami na porastovej stene.

*Kľúčové slová: smrek, teplota kmeňa a koruny, porastová stena, vnútro porastu*

#### **ÚVOD**

Po prírodnej disturbancii (vietor, podkôrny hmyz) alebo po ťažbe dreva vznikajú v lese porastové steny a holiny. Veľký kontrast medzi porastovou stenou a vnútrom porastu výrazne ovplyvňuje fyzikálne podmienky a biologické procesy. Najstabilnejšie mikroklimatické podmienky sú vo vnútri porastu. Najvyššie rozdiely s priebehom teploty vzduchu medzi porastovou stenou a vnútrom porastu sú počas jasného dňa. Mikroklima porastovej steny silno závisí od jej orientácie /1/.

/2/ metódou bodových čidiel (termočlánkové ihly) skúmali na porastovej stene dva stromy. Zelený, relatívne nepoškodený strom a ešte čiastočne zelený no evidentne usychajúci strom napadnutý podkôrnym hmyzom. Teplota kambia bola meraná vo viacerých výškach

stromu a zároveň boli zaznamenávané aj ostatné charakteristiky okolia (teplota vzduchu, globálne žiarenie, vodný potenciál pôdy). Meranie teplôt bolo vykonané na oslnenej a zároveň aj tienenej strany stromu. Vo vyššie spomenutom experimente sa práve javí ako možný dobrý ukazovateľ aj diferencia teplôt kmeňa medzi oslnenou a zatienenou stranou stromu, pričom chorý, stresovaný alebo napadnutý strom má práve za slnečného dňa výraznú diferenciu teploty kmeňa oproti stromu zdravému. Dokonca aj diferencie teplôt kmeňa počas relatívne oblačného dňa sú u chorého stromu badateľné, čo svedčí len o tom, že aj minimum slnečného žiarenia stačí, aby sa kmeň prehrieval, čo u zdravého stromu nebadáť.

Jednou z možností zisťovania teplôt je aj termografia, ktorá našla uplatnenie v oblasti poľnohospodárstva, parkovníctva a aj v ďalších oblastiach. /3, 4/ Skúmali vplyv vodného stresu na viaceré druhy stromov a následné navrhnutie potrebných opatrení ako dôsledok extrémneho sucha v strednej Európe v roku 2003. Termografiu je taktiež možné využiť na určenie zdravotného stavu rastlín na základe teploty listov /5/ a na možnosti využitia zavlažovanie pri poľnohospodárskych plodinách /6, 7/. Výskumy zamerané na fyziologické a tepelné charakteristiky v rôznom fyziologickom stave boli skúmané /8/.

Na základe predchádzajúcich prác možno predpokladať, že termokamerou možno efektívne skúmať tepelné charakteristiky stromov v rôznom fyziologickom stave a tak určovať ich kondíciu a zdravotný stav. Princíp je v tom, že v zdravom strome funguje transpiračný prúd, ktorý strom ochladzuje. Vo fyziologicky oslabenom alebo v strome obsadenom podkôrnym hmyzom je transpiračný prúd narušený, čo sa prejavuje v prehrievaní stromu. Uvedené javy je možné použiť na vyhľadávanie stromov predisponovaných na nálet podkôrneho hmyzu alebo aktívnych chrobačiarov, na ktorých ešte nevidno zmeny farby ihličia.

## **MATERIÁL A METODIKA**

Merania prebiehali 20.8.2012 v dospelom smrekovom poraste v LHC Michalová (okr. Brezno, SR), s nadmorskou výškou v rozpätí od 650 do 730 m. Bolo zvolených 5 úrovňových stromov vo vnútri porastu, 5 živých stromov a 5 odumierajúcich stromov po nálete podkôrneho hmyzu na porastovej stene po ťažbe v roku 2011.

Teploty boli merané a zaznamenávané pomocou termokamery typu WH-8 s nechladeným FPA mikrobolometrom s rozlíšením 384 x 288 bodov. Rozsah snímaného spektra 8-14  $\mu\text{m}$  a tepelná citlivosť pri 30 °C je udávaná výrobcom cca 0,08 °C.

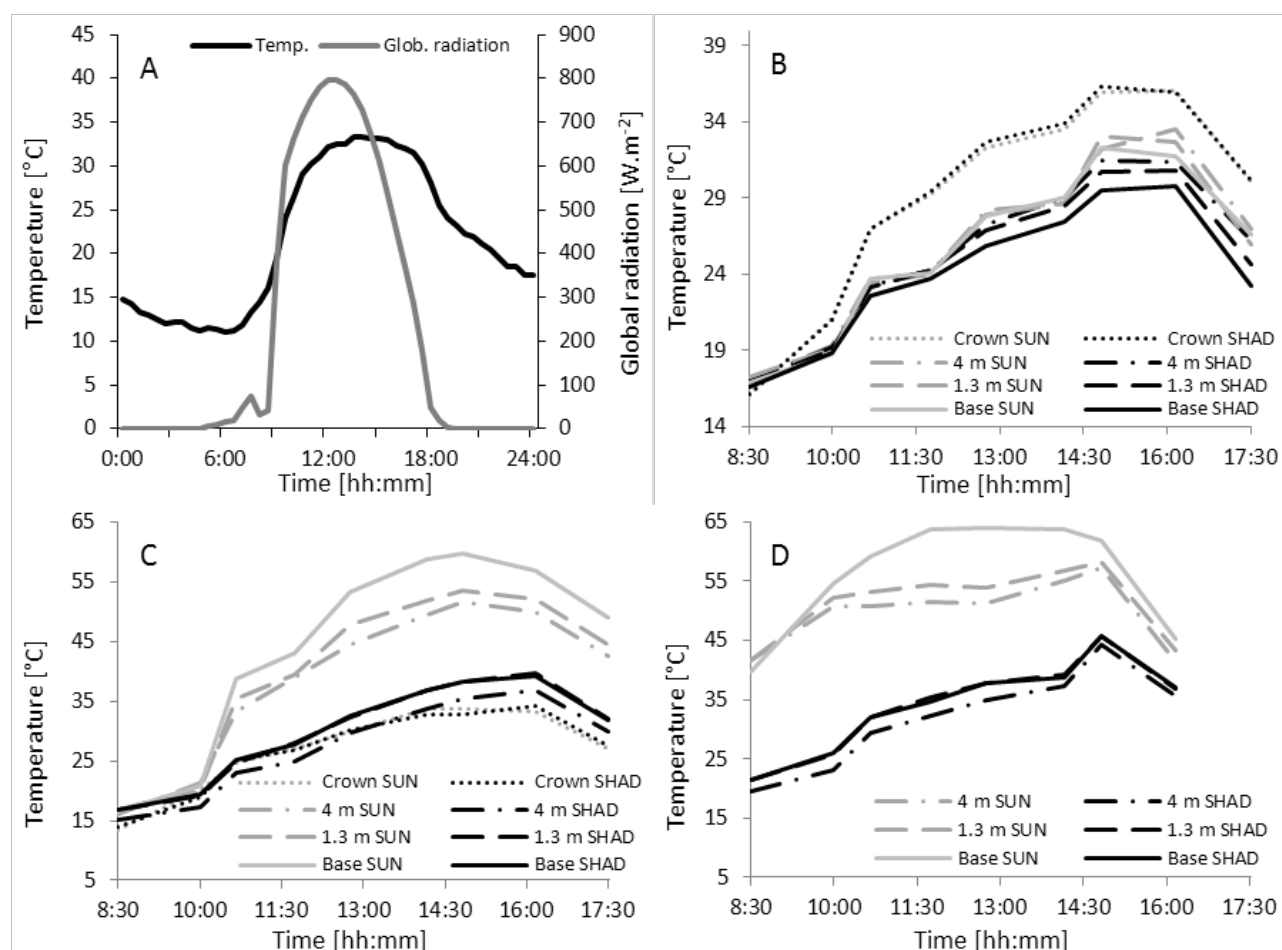
Teploty boli snímané u každého stromu z dvoch strán – zo strany, z ktorej svietilo slnko, čo najkolmejšie a opačnej strany, ktorá je v tieni aj v prípade stromov na porastovej stene. Teploty sa merali na báze stromu, vo výškach 1,3 a 4 m, a teplota koruny bola snímaná zospodu pohľadom do koruny. Teplota koruny sa nesnímala u odumierajúcich stromov z dôvodu straty asimilačných orgánov. V prípade zdravých stromov vo vnútri porastu a na porastovej stene bolo uskutočnených 9 meraní v priebehu dňa a v prípade odumierajúcich stromov bolo meraní 8.

Na priľahlej voľnej ploche bola v polhodinových intervaloch meraná teplota vzduchu a globálna radiácia pomocou Minikin RT (EMS Brno, CZ).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Merania prebiehali v bezoblačný a veľmi teplý deň, kedy maximálna teplota vzduchu dosiahla 33,3 °C (Obr. 1A).

Priebeh priemerných teplôt vo vnútri porastu (Obr. 1B) ukazuje výrazný vplyv mikroklimy porastu, kedy slnečné žiarenie nedopadá na povrch pôdy v poraste a nezohrieva ju. Aj z tohto dôvodu zostáva báza stromov počas celého dňa najchladnejšia a teplota sa na kmeni zvyšuje sa zvyšujúcou sa výškou merania. Teplota koruny, aj keď bola meraná zospodu, je ovplyvnená dopadajúcim slnečným žiarením na porast a je najvyššia. Rozdiely teplôt kmeňa v jednotlivých výškach merania medzi oslnenou a zatienenou stranou vnútri porastu sú aj počas najteplejšej časti dňa do 3 °C. Mikroklimu porastu, porastovej steny a holiny porovnávali v letných mesiacoch taktiež [1]. Zistili, že teplota pôdy v poraste je porovnaní s teplotou pôdy na porastovej stene a holine najnižšia, pričom teplota pôdy počas slnečného dňa v poraste je aj o 8 °C nižšia ako na porastovej stene a teplota vzduchu o 3,6 °C. To sú porovnateľné rozdiely v mikroklimě ako v našom prípade.



Obr. 1: A – priebeh teploty vzduchu a globálnej radiácie v deň merania; a priebeh priemerných teplôt oslnenej (SUN) a zatienenej (SHAD) časti na báze stromu, vo výške 1,3 m a 4m a koruny: B – stromov vo vnútri porastu, C – živých stromov na porastovej stene a D – odumierajúcich stromov na porastovej stene.

Priebeh priemerných teplôt živých stromov na porastovej stene (Obr. 1C) ukazuje, že teploty oslnenej strany začínajú byť nad úrovňou teploty vzduchu okolo 10:00 hod a zatienenej okolo 13:00 hod. Výnimkou je teplota koruny, ktorá je nad úrovňou teploty vzduchu len v prípade jedného merania a to o 16:10 hod. Na porastovej stene platí obrátené poradie teplôt v porovnaní s vnútrom porastu, kedy báza stromov je najteplejšia a teplota sa smerom ku korune znižuje. Rozdiely teplôt kmeňa v jednotlivých výškach merania medzi oslnenou a zatienenou stranou na porastovej stene sú výrazne vyššie ako vo vnútri porastu a síce v prípade bázy kmeňa až 21,8 °C, vo výške 1,3 m 15,3 °C a vo výške 4 m 15,7 °C. Rozdiely v teplote koruny sú minimálne.

Priebeh priemerných teplôt odumierajúcich stromov na porastovej stene (Obr. 1D) ukazuje, že teploty oslnenej strany ako aj zatienenej strany sú počas celého merania nad teplotou okolia s výnimkou zatienenej strany okolo 10:00 hod. Rovnako aj pri odumierajúcich stromoch sa javí najvyššia teplota na báze stromov a s výškou klesá, pričom na zatienenej strane je tento rozdiel teplôt s výškou merania do 4 °C a na oslnenej najmä báza stromov je v priebehu dňa výrazne teplejšia a rozdiel teplôt s výškou merania je až 13 °C. Rozdiely teplôt kmeňa v jednotlivých výškach merania medzi oslnenou a zatienenou stranou na porastovej stene pri odumierajúcich stromoch sú výrazne vyššie ako vo vnútri porastu ako aj pri zdravých stromov na porastovej stene a síce v prípade bázy kmeňa až 29,2 °C, vo výške 1,3 m 26,2 °C a vo výške 4 m 27,5 °C. Rozdiely v teplote koruny sú minimálne.

## LITERATÚRA

- /1/ Chen, J., Franclin, J. F., Spies, T. A.: Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old growth Douglas-fir forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63, 1993: 219–237.
- /2/ Jakuš, R., et al.: Analýza príčin a návrh opatrení proti hromadnému odumieraniu smrečín v pohraničných oblastiach severného Slovenska: Záverečná správa z riešenia projektu APVT-51-019302. Zvolen, 2006: 126–131.
- /3/ Wang, X., Yang, W., Wheaton, A., Cooley, N., Moran, B.: Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: A first step towards automated plant water stress monitoring, *Computers and Electronics in Agriculture*, 73, 2010: 74–83.
- /4/ Scherrer, D., Bader, M. K.-F., Körner, Ch.: Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies, *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 2011: 1632–1640.
- /5/ Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., de Sousa, C., Chaves, M. M., Grant, O. M.: Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002: 2249–2260.
- /6/ Jones, H. G.: Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 95, 1999a: 139–149.
- /7/ Jones, H. G.: Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Journal of Plant Cell and Environment*, 22, 1999b: 1043–1055.
- /8/ Granier, A., Anfodillo, T., Sabatti, M., Cochard, H., Dreyer, E., Tomasi, M., Valentini, R., Bréda, N.: Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis, *Tree Physiology* 14, 1994: 1383–1396.

## PodĎakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Prognosticko-informačné systémy pre zvýšenie efektívnosti manažmentu, ITMS: 26220220109, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## **OHROŽUJÍ GLYFOSÁTOVÉ HERBICIDY UDRŽITELNOST INTENZIVNÍCH PĚSTITELSKÝCH SYSTÉMŮ?**

### ***ARE GLYPHOSATE HERBICIDES PUTTING SUSTAINABILITY OF INTENSIVE AGRICULTURE SYSTEMS IN JEOPARDY?***

Václav Kúdela

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, kudela@vurv.cz

#### ***Summary***

Glyphosate, an active ingredient in many weed-killing preparations, is the world's biggest-selling chemical used for weed control in agriculture, forestry and urban environment. The widespread use of glyphosate can cause negative impacts on soil microorganisms and crop plants, their productivity and quality of products. Glyphosate accumulates in plant tissues including roots, shoots and reproductive organs. Some applied glyphosate exudes from roots into soil. Residual glyphosate in soil can damage desirable plants by root uptake. Glyphosate complexes with nutrients and reduces availability for plant growth. Long-running use of glyphosate can modify the soil microflora including of soilborne pathogens increase. To ignore those problems may have far reaching consequences such as soil fertility decline and threat to sustainability of agriculture systems.

*Key words glyphosate, environmental impacts, glyphosate-nutrient complexes, soil microflora modification, increasing plant disease incidence, sustainability of agrosystems*

#### ***Souhrn***

Glyfosát, účinná látka v mnoha plevelohubných přípravcích, je nejprodávanější chemikálií používanou k regulaci plevelů v zemědělství, lesnictví a městském prostředí. Rozsáhle používání glyfosátu může mít negativní vliv na půdní mikroorganismy a plodiny, jejich produktivnost a kvalitu produktů. Glyfosát se akumuluje v rostlinných pletivech včetně kořenů, výhonů a reprodukčních orgánů. Určité množství aplikovaného glyfosátu se z kořenů exsuduje do půdy. Rezidua glyfosátu v půdě mohou být kořeny pěstovaných rostlin přijímána a poškozovat je. Glyfosáty vytvářejí s živinami komplexy a snižují jejich dostupnost pro růst rostlin. Dlouhodobé používání glyfosátu může modifikovat půdní mikroflóru a zvyšovat četnost půdních fytopatogenů. Pomíjení těchto problémů může mít dalekosáhlé důsledky v poklesu půdní úrodnosti a ohrožení udržitelnosti agrosystémů.

*Klíčová slova: glyfosát, vliv na prostředí, komplexy glyfosátu se živinami, modifikace půdní mikroflóry, vzestup četnosti chorob rostlin, udržitelnost agrosystémů*

#### **ÚVOD**

Glyfosát je neselektivní herbicidní látka obsažená v řadě přípravků s různými komerčními názvy. V celosvětovém měřítku patří přípravky na bázi glyfosátu k nejčastěji aplikovaným herbicidům a nejprodávanějším pesticidům.

Převratně nové využití glyfosátu započalo v roce 1996, když byla do praxe uvedena transgenní (transformovaná, geneticky modifikovaná, GM) sója a následně kukuřice, čirok, řepka, vojtěška a bavlník. V celosvětovém měřítku zaujímají GM plodiny přibližně polovinu



osevní plochy sóje, třetinu plochy kukuřic, více než 10 % bavlníku a 5 % řepky. Jde o plodiny, které jsou z větší části krmivem pro zvířata nebo jsou průmyslově zpracovávány.

V zemích Evropské unie je používání GM plodin striktně zákonem zakázané, dočasně zakázané nebo se používání umožňuje při dodržení určitých zákonných pravidel. Rozsah plochy oseté GM plodinami je menší než 0,5 % zemědělské půdy. V roce 2003 vydala Evropská komise doporučení k tvorbě národních strategií k zajištění koexistence GM plodin s konvenčním a ekologickým zemědělstvím.

Přibývá dokladů o tom, že masové rozšíření glyfosátových herbicidů a jejich dlouhodobé intenzivní využívání může být doprovázeno neočekávanými nežádoucími škodlivými vlivy na užitkové rostliny, na jejich výživu a zdraví, ale rovněž na rhizosféru i jiné půdní organismy, což ve svých důsledcích může ohrožovat udržitelnost pěstelských systémů /2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13/. Lze předpokládat, že v ČR by se mohly projevit škodlivé účinky dlouhodobého používání glyfosátů v podnicích uplatňujících minimalizační technologie zpracování půdy, v ovocných sadech a vinicích.

### **PROBLÉMY SPJATÉ S POUŽÍVÁNÍM GYFOSÁTOVÝCH HERBICIDŮ**

Sporné otázky mající spojitost s používáním glyfosátových herbicidů nabyly na závažnosti ve vazbě na tyto okolnosti: (i) glyfosát je nejrozšířenější dlouhodobě používanou herbicidní látkou a dopad zaznamenaných negativních vlivů jeví se z krátkodobého hlediska jako zanedbatelné, může být zárodkem pomalu se vyvíjející závažné krize postihující nejproduktivnější zemědělské oblasti; (ii) původně deklarovaná zdravotní nezávadnost a ekologická neškodnost glyfosátu je zpochybňována; (iii) z celkové výměry pěstovaných GM plodin připadá 80 % rozlohy na plodiny vyznačující se tolerancí ke glyfosátovým herbicidům; (iv) se vzestupem výměry GM plodin tolerantních ke glyfosátovým herbicidům stoupá i jejich spotřeba; (v) jsou zaznamenány významné rozdíly v citlivosti plevelných druhů ke glyfosátu a vyvíjejí se plevele, které jsou k němu rezistentní; (vi) producentem osiva GM plodin tolerantních ke glyfosátu je namnoze firma, která produkuje i glyfosátové herbicidy; (vii) nákup GM osiva je vázaný na koupi glyfosátového herbicidu, což se pro některé pěstitele stává značnou finanční zátěží; (viii) zaznívají obavy z růstu závislosti potravinové bezpečnosti v celosvětovém měřítku na nemnoha nadnárodních společnostech „majících v rukou“ genové technologie chráněné svými patenty.

Rizika glyfosátových herbicidů pro agrosystémy lze spatřovat v tom, že:

- glyfosát může u plodin vyvolat: příznaky zaměnitelné s poškozeními a poruchami působenými abiotickými faktory chemického a povětrnostními původu (abiotikózami);
- kvantitativní a kvalitativní vlastnosti plodin mohou být ovlivněny i subletálními dávkami glyfosátu;
- glyfosát může predisponovat plodiny k větší náchylnosti k původcům infekčních chorob (biotikózám), zejména těch, které jsou způsobovány půdními patogeny;
- glyfosát má přímý účinek na půdní mikroorganismy;
- k vzestupu významu půdních patogenů v posledních letech přispívá zavádění specifických geneticky modifikovaných plodin rezistentních/tolerantních ke glyfosátu, což má za následek omezení jejich genetické různorodosti, a tím i zvýšení jejich zranitelnosti;

- introgrese rezistence ke glyfosátovým herbicidům může potenciálně zhoršit problémy u existujících plevelných druhů v plodinách geneticky resistantních ke glyfosátu nebo způsobit problémy u plevelných druhů, které normálně problém nepřestávají;
- glyfosát aplikovaný opakovaně na jednom stanovišti po delší období a ve větších dávkách, může vést k poklesu půdní úrodnosti a může ohrozit udržitelnost intenzivních pěstelských systémů.

### VLIV GLYFOSÁTU NA PĚSTOVANÉ PLODINY

V pěstelských systémech, kde je glyfosát pravidelně aplikován, mohou být nadzemní části plodin (necílových rostlin) poškozeny úlety glyfosátu. Podzemní části rostlin jsou vystaveny poškození rezidui této herbicidní látky přetrvávajícími v půdě. Do půdy se dostává značné množství glyfosátu aplikovaného na plevele (cílové rostliny) jako výsledek přímého kontaktu, smyvu z listů a exsudace z kořenů ošetřených plevelů. Z celkového množství aplikovaného glyfosátu se na necílové organismy může dostat až 10 %. Poločas rozpadu glyfosátu v půdě se pohybuje v řádu několika týdnů až roků. Až 90 % reziduí glyfosátu se nachází v horní 15 cm vrstvě půdy, kde představují závažnou hrozbu pro půdní mikrobiální aktivitu a příjem živin necílových rostlin (plodin) /5/.

### PŮVODCE NUTRIČNÍCH PORUCH ROSTLIN

Z výsledků polních pozorování v USA a Brazílii, které cituje /6/, vyplynulo, že časté aplikace glyfosátu způsobují u různých druhů plodin deficienci Fe, Zn a Mn. V kontrolovaných podmínkách aplikace glyfosátu na geneticky nemodifikované rostliny sóje průkazně snížila sušinu kořenů i stonků a redukovala koncentraci chlorofylu v mladých listech a vrcholech stonků. Bazální části nejmladších listů a vrcholy stonků byly za 24 hod po postřiku silně chlorotické. Glyfosát rovněž způsobil výrazný pokles koncentrace Fe a Mn v listech, zatímco pokles koncentrace Zn a Cu byl menší. V pokuse se značenými prvky byla již za 12 a 24 hod od aplikace glyfosátu výrazně redukována schopnost kořenů přijímat <sup>59</sup>Fe a <sup>54</sup>Mn. Translokace těchto prvků z kořenů do stonků byla většinou zcela inhibovaná. Tyto výsledky svědčí o tom, že úlety postřikové tekutiny nebo rezidua glyfosátu mohou u necílových druhů plodin vyústit v silné narušení výživy železem a manganem. Je to pravděpodobně způsobeno tvorbou špatně rozpustných komplexů glyfosátu s kovy v rostlinných pletivech a (nebo) interakcí glyfosátu exsudovaného z kořenů do rhizosféry s živinami v půdním prostředí /6/. K obdobným výsledkům dospěli i /2/.

Glyfosát negativně ovlivňuje hlízkové bakterie *Rhizobium trifolii* naočkované na semena bobovitých rostlin. Glyfosát aplikovaný do písčité půdy nebyl ani po 120 dnech od aplikace inaktivován, neboť fixace vzdušného N<sub>2</sub>, počet hlízek a hmotnost kořenů jetele byla redukována. Dokonce i postřik poměrně nízkou dávkou glyfosátu (tj. 1,25 mM) způsobuje v hlízkách lupiny za 24 h po postřiku průkazný pokles aktivity nitrogenázy /4/.

### PREDISPOZIČNÍ FAKTOR INFEKČNÍCH CHOROB ROSTLIN

Jelikož glyfosát inhibuje biosyntézu aromatických kyselin ovlivňujících biosyntézu proteinů, auxinů, fenolických fytoalexinů, kyseliny listové, ligninů, flavonoidů, plastochinonů a stovek jiných fenolických a alkaloidních sloučenin, lze očekávat, že glyfosát zvyšuje náchylnost kompatibilních rostlin k fytopatogenům a jiným stresorům /3/.

Johal a Huber /6/ shrnuli výsledky více než 30 publikovaných prací, které dokládají vzestup náchylnosti jednoletých a víceletých plodin, u nichž po aplikaci glyfosátu stoupla náchylnost k různým chorobám. Vzestup náchylnosti souvisí s tím, že glyfosát oslabuje přirozený obranný systém rostlin a/nebo s tím, že narušuje přirozenou půdní mikroflóru a umožňuje tak rozvoj původců kořenových chorob.

V zemích, kde jsou povoleny GM plodiny s tolerancí nebo rezistencí ke glyfosátu se aplikace glyfosátu zintenzivnila. Aplikovaný glyfosát je snadno translokován ke kořenům a uvolňován do rhizosféry v kořenových exsudátech jak GM tolerantních plodin, tak i plodin ke glyfosátu citlivých. Při kontinuálním používání jsou toxické mikrobiální účinky kumulativní, takže deficienze Mn je nyní zaznamenána v oblastech, které byly dříve považovány za dostatečně manganem zásobené, a to proto, že byla snížena populace půdních organismů redukujících Mn. Spolu s deficiencí Mn indukovanou glyfosátem byl zaznamenán nejen četnost, ale síla infekčních chorob /6/.

#### VLIV NA KVALITATIVNÍ VLASTNOSTI ROSTLINNÝCH PRODUKTŮ

UN FAO Codex Alimentarium stanoví maximální hladinu rezidui glyfosátu a hlavního rozkladného produktu AMPA. Tak např. u banánu je to 0,05 mg/kg, v krmivu vojtekšky 500 mg/kg. Kvantitativní a kvalitativní vlastnosti plodin, které jsou zdrojem potravin a krmiv, mohou však být nepříznivě ovlivněny i subletálními dávkami glyfosátu. Středem pozornosti se stává zejména kvalita semen /2/, hnědnutí dužniny jablek /10/, zdravotní nezávadnost potravin a krmiv.

**Kvalita semen.** Ve skleníkových pokusech byly testovány účinky úletu glyfosátu na růst rostlin a koncentraci minerálních živin v listech a semenech geneticky nemodifikovaných rostlin sóje. Nadzemní části byly ošetřeny glyfosátem v dávkách mezi 0,06 a 1,2 % doporučené aplikace k ničení plevelných rostlin. Reprodukční orgány byly citlivější ke glyfosátu než vegetativní pletiva a pokles produkci semene byl mnohem větší než redukce tvorby stonků. Při aplikaci glyfosátu v dávkách od 0 do 1,2 % doporučené dávky byla hmotnost stonků redukována téměř 3x a hmotnost semene dokonce 8,8x. Ošetření glyfosátem snížilo zejména v mladých listech koncentraci Ca, Mn a Mg a průkazně snížilo koncentraci Ca, Mg, Fe a Mn v semenech. Není dosud známo, do jaké míry mohou zaznamenané výrazné změny v obsahu živin v semenech z rostlin soje ošetřených glyfosátem vliv na kvalitu semen /2/.

**Hnědnutí dužniny jablek.** U jablek určených k přímému konzumu je i slabé hnědnutí dužniny nepřijatelné. Četnost a síla hnědnutí dužniny jablek v sadu kolísá, přičemž příčiny tohoto poškození se nese snadno určují. Byl podán doklad o tom, že na vzniku hnědnutí dužniny jablek se může podílet i glyfosát, který ve formě úletů zasáhne během vegetace listy jabloně. Hnědnutí dužniny se projevilo až během skladování v řízené atmosféře /13/.

#### **Zdravotní nezávadnost potravin a krmiv.**

K přednostem glyfosátu patří jeho relativně nízká akutní toxicita pro člověka a zvířata. Glyfosát je řazen do kategorie pesticidů, které jsou pro člověka nekarcinogenní a není rovněž uchovávan v průkazném rozsahu v tkáních zvířat /10/. Pokud byly u člověka pozorovány nepříznivé účinky herbicidů na bázi glyfosátu (kontaktní a systémové dermatitidy, podráždění očí a respirační potíže), byly vysvětlovány jako toxické účinky surfaktantů nebo plnidel, látek usnadňujících aplikaci herbicidu. Samotné molekuly glyfosátu jsou považovány za

toxikologicky nejbezpečnější z dostupných herbicidů /1/. Možnost rizika dlouhodobého používání nízkých dávek glyfosátu v potravě zvířat dokládá recentní práce autorů Seralini *et al.* /12/, vůči níž však byly vzneseny kritické výhrady.

## INTROGRESE GENU REZISTENCE KE GLYFOSÁTU Z DO GENOMU CITLIVÝCH ROSTLIN

Relativně dobrý potenciál introgrese trasgenů do genomu volně rostoucích příbuzných rostlin je u slunečnice, cukrovky, rýže a jiných plodin. Avšak např. na západní polokouli přenos transgenů ze sóje není považován za riziko, neboť v Severní Americe a Jižní Americe se ve volné přírodě příbuzné druhy rostlin nevyskytují /3/.

Introgrese genu rezistence ke glyfosátu z transgenů do genomu citlivých rostlin téhož druhu plodiny je mnohem pravděpodobnější než introgrese do jiných druhů rostlin. Nechtěná přítomnost genu rezistence v jiné odrůdě téhož druhu může mít v následujících letech za následek problémy se samovýsevnými rostlinami. Z kulturní rostliny by se mohl stát obtížný plevel. Gen pro toleranci k herbicidu vnesený do jiného genotypu kulturního rostlinného druhu by rovněž mohl mít neočekávaný pleiotropní účinek (vnášený gen by např. mohl aktivovat metabolické cesty, jež nejsou v rostlině obvykle aktivní).

Relativně málo poznatků je k dispozici o introgenезi genu rezistence nebo tolerance ke glyfosátu do genomu rostlin ve volné přírodě a o potenciálním vlivu na přirozené ekosystémy /3/.

## MINIMALIZACE ŠKODLIVÝCH ÚČINKŮ GLYFOSÁTU NA NECÍLOVÉ ROSTLINY

Strategie a konkrétní opatření, jejichž cílem je předejít poškození a minimalizovat nepříznivé účinky glyfosátu, by měla zahrnovat:

- odmítavý či zdrženlivý přístup k zmírňování či zrušení zákazu pěstování GM plodin tolerantních ke glyfosátu v zemích Evropské unie;
- omezení přílišné závislosti bezorebných systémů na používání glyfosátu;
- redukce používání glyfosátu u vytrvalých kultur, ve větší míře využívat možnosti nechemické regulace plevelů;
- uvážlivé stanovení aplikační dávky glyfosátu;
- upuštění od běžné praxe předseťového ošetření glyfosátem, která připouští jeho aplikaci dokonce až v prvních dnech po vysetí osiva plodiny (necílového druhu rostlin), tj. bez časového odstupu mezi aplikací glyfosátu a výsevem osiva necílového druhu rostliny;
- předcházení vzniku a rozšíření rezistentních druhů plevelů omezením četnosti aplikace glyfosátu a výše aplikačních dávek;
- prevenci rizika predispozice rostlin k původcům infekčních chorob způsobenou glyfosátem, a to:
  - používáním nižších dávek glyfosátu, zejména u GM plodin s tolerancí nebo rezistencí ke glyfosátu;
  - monitorováním zásobenosti půdy a rostlin mikroživinami a harmonickou výživou udržovat optimální průběh fyziologických funkcí mikrobiálních společenstev a účinnost obranných reakcí rostlin;

•organickým hnojením, obnovením činnosti bakterií podporujících růst rostlin a očkovaním osiva bobovitých rostlin hlízkovými bakteriemi zmírnit toxicitu glyfosátu uvolňovaného z rostlin z rostlin v kořenových exsudátech

## ZÁVĚRY

Neselektivní, širokospektrální, systémové, postemergentní, foliárně aplikované glyfosátové herbicidy našly mnohostranné uplatnění v zemědělských, lesních, městských i přirozených ekosystémech. Stalo se tak pro jejich přednosti spočívající ve spolehlivém plevelohubném účinku, vykazované ekonomické efektivnosti, deklarované zdravotní nezávadnosti i ekologické neškodnosti. V protikladu s obecným povědomím, že glyfosát je pro pěstitelské systémy neškodný, neboť je zčásti v půdě snadno mikrobiálně rozložen nebo pevně adsorbován na půdní částice, byly v posledních několika letech předloženy výsledky pokusů, které tyto předpoklady zpochybňují.

Při původním hodnocení vlastností glyfosátu nebyla správně posouzena jeho potenciální ekotoxikologická rizika zejména při dlouhodobějším užívání, jeho chování v rhizosféře po aplikaci na plevele, vliv na půdu, především půdní mikrobiální společenstva, a na pěstované rostliny. Častým předmětem polemik je otázka, zda udržitelnost intenzivních pěstitelských systémů je slučitelná s masovým dlouhodobým používáním herbicidů na bázi glyfosátu v kombinaci s pěstováním geneticky modifikovaných plodin, u nichž je tolerance nebo rezistence k této herbicidní látce závislá na jediném transgenu. Pro udržitelnost pěstitelských systémů je zvláště rizikové zavádění GM plodin tolerantních ke glyfosátu, které je spjato s nárůstem objemu glyfosátu vnášeného do půdního prostředí. Negativní účinky glyfosátu, jeví se z krátkodobého hlediska jako zanedbatelné, mohou být zárodkem pomalu se vyvíjející závažné krize postihující nejproduktivnější zemědělské oblasti.

## LITERATURA

- /1/ Bradberry, S. M., Proudfoot, A. T., Vale, J. A.: Glyphosate poisoning. Toxicological Review, 23, 2004: 159-167.
- /2/ Cakmak, I., Yazici, A., Tutus, Y., Ozturk, L.: Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. Europ. J. Agronomy, 31, 2009: 114-119.
- /3/ Cerdeira, A. I., Duke, S. O.: The current status and environmental impacts of glyphosate resistant crops: a review. J. Environ. Qual., 35, 2006: 1633-1658.
- /4/ De Maria, N., Becerril, J. M., Garcia-Plazaola, J. I., Hernandez, A., De Felipe, M. R., Fernandez-Pascual, M. : New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. J. Agric. Food Chem., 54, 2006: 2621-2628.
- /5/ Eker, S., Ozturk, L., Yazici, A., Erenoglu, B., Romheld, V., Cakman, I.: Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuum* L.) plants. Agricultural and Food Chemistry. Published on Web 12/08/2006. Page est:6.2.
- /6/ Johal, G. S., Huber, D. M.: Glyphosate effects on diseases of plants. Eur. J. Agron, 2009:144-152.
- /7/ Kremer, R. J.: Glyphosate interaction beyond weed control: current state of knowledge. USDA ARS & University of Missouri, Columbia, Mo.  
[http://www.agron.iastate.edu/news/events/2011staniforth\\_sm.pdf](http://www.agron.iastate.edu/news/events/2011staniforth_sm.pdf). Retrieved: August, 23, 2012.
- /8/ Lévesque, C. A., Rahe, J. E.: Herbicide interactions with fungal rot pathogens, with special reference to glyphosate. Annu. Rev. Phytopathol., 30, 1992: 579-602.
- /9/ Roberts D.M., Buckley N.S., Mohamed F., Eddleston M., Goldstein D.A., Mehrskeikh A., Bleeke M.S., Davaon A.H.: A prospective observational study of the clinical toxicology of glyphosate-containing herbicide in adults with acute self-poisoning. Clin. Toxicol., Vol. 48, 2010, pp. 129-136.
- /10/ Rosenberger, D., Sazo, M. M., Kahlke, C., Mathers, H., Watkins, Ch.: Potential non-target effects of glyphosate on apples. Scaffolds Fruit Journal, 20, 2010: 4-9.

- /11/ Séralini, G. E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequinc, D., Spiroux de Vendomois, J.: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant lifted maize. Food and Chemical Toxicolog, 2012. Article in Press.  
Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foodchemtox](http://www.elsevier.com/locate/foodchemtox) . Retrieved: September, 23, 2012.
- /12/ Tesfamariam, T., Bott, S., Cakmak, I., Römheld, V., Neumann, G.: Glyphosate in the rhizosphere - role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. Europ. J. Agronomy, 31, 2009: 126-132.
- /13/ Yamada, T., Kremer, R. J., de Camargo e Castro, P. R., Wood, B. W.: Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants: Threat to agricultural sustainability? Europ. J. Agronomy, 31, 2009: 111-113.

### **Poděkování**

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MZe 0002700604.

## VÝSKYT CHOROB OBILOVIN V ZÁVISLOSTI NA POČASÍ

### *OCCURRENCE OF CEREAL DISEASES DEPENDING ON WEATHER*

Jana Chrpová, Václav Šíp, Alena Hanzalová, Lenka Štočková

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha 6 – Ruzyně, Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně,  
chrpova@vurv.cz

#### *Summary*

In this paper there are described main weather and climatic factors that influenced the occurrence and severity of certain cereal diseases. The information was gathered about the variation in occurrence of virus diseases (BYDV, WDV), Fusarium head blight, leaf spot diseases and cereal rusts in dependence on weather conditions. The influence of other factors (reduced tillage system, crop rotation, plant nutrition level, etc.) on the spread of these diseases was also significant.

*Key words: cereals, viral diseases, fungal diseases, weather and climatic conditions*

#### **Souhrn**

Príspevek prináša informácie o výskytu niektorých závažných chorôb obilovín se zohľadnením poveternostných podmienok sledovaných ročníkov. Informácie sa týkajú predovšetkým následujících chorôb: BYDV, WDV, klasové fuzariózy, listové skvrnitosti a rzi. Poveternostní i klimatické podmínky silně ovlivňují napadení rostlin a rozvoj chorôb, významnou roli však hrají i další faktory, především agrotechnika.

*Klíčová slova: obiloviny, virové choroby, houbové choroby, klimatické a poveternostní podmínky*

#### **ÚVOD**

Výskyt chorôb obilovín je podmíněn řadou faktorů. Nezbytné je vytvoření vhodných podmínek pro rozvoj patogena, což zahrnuje přítomnost náchylné hostitelské rostliny, dostatečné množství inokula patogena a vhodné podmínky prostředí pro původce chorôb, popř. vektory (přenašeče chorôb). Je známo, že poveternostní podmínky v daném ročníku výrazně ovlivňují výskyt a intenzitu napadení obilovín chorôbami. Významnou roli hrají i další faktory jako osevní postup, úroveň rezistence pěstovaných odrůd, použité pěstební technologie i výše vstupů (úroveň výživy, chemická ochrana). Na rozšíření chorôb mohou mít vliv i další faktory nesouvisející přímo s počasím ani se zemědělskou činností. V práci /5/ je uvedeno, že k nárůstu výskytu braničnatky pšeničné (*Mycosphaerella graminicola*) a naopak ke snížení výskytu braničnatky plevové (*Phaeosphaeria nodorum*) došlo v souvislosti se snížením obsahu SO<sub>2</sub> v atmosféře. Na základě změn životního prostředí a zvláště klimatických změn lze predikovat i změněnou geografickou oblast uplatnění plodiny i jejich patogenů, stejně jako změny v interakci hostitel patogena a vliv na ztráty výnosu /2/.

V tomto příspěvku byla pozornost věnována především houbovým chorobám pšenice, u kterých lze předpokládat přímější závislost na průběhu počasí (fuzariózy klasu a listové

choroby pšenice). Dále byl sledován výskyt virových chorob WDV a BYDV u pšenice ječmene.

## MATERIÁL A METODA

Údaje o výskytu škodlivých organismů a chorob rostlin na území České republiky získané na základě průzkumu na stálých pozorovacích bodech i mimo ně včetně údajů o průběhu počasí každoročně zpracovává Státní rostlinolékařská správa (SRS). Výskyt klasových fuzarióz a akumulace zrna mykotoxiny jsou sledovány ve spolupráci SRS a VÚRV, v.v.i. SRS zajišťuje náhodný odběr klasů z pozorovacích bodů, ve VÚRV, v.v.i. je hodnocen stupeň napadení klasů a stanoven obsah deoxynivalenolu (DON) metodou ELISA. Pro hodnocení průběhu počasí byly využity údaje o teplotách a srážkách volně dostupné na portálu ČHMÚ. Výskytem listových chorob a změnami spektra patogenů se zabývají i některé výzkumné projekty, které taktéž vycházejí ze sběrů z celého území České republiky.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

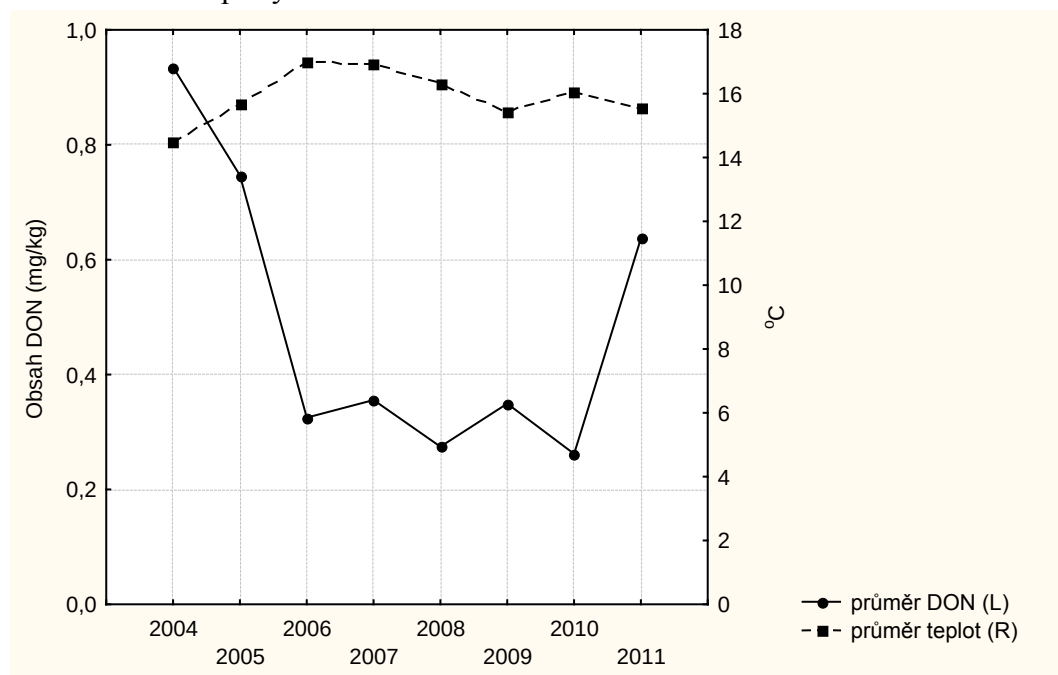
### Fuzariózy klasu

Na infekci se podílí komplex patogenů z rodu *Fusarium*. Při hodnocení výskytu fuzarióz klasu byla hlavní pozornost věnována obsahu mykotoxinu deoxynivalenol, (DON), který je produkován druhy *Fusarium graminearum* a *F. culmorum* a je považován za určitý markér kontaminace zrna mykotoxiny. Nařízením komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006 byl pro mykotoxin DON stanoven v nezpracovaném zrně pšenice maximální limit 1,25 mg.kg<sup>-1</sup>.

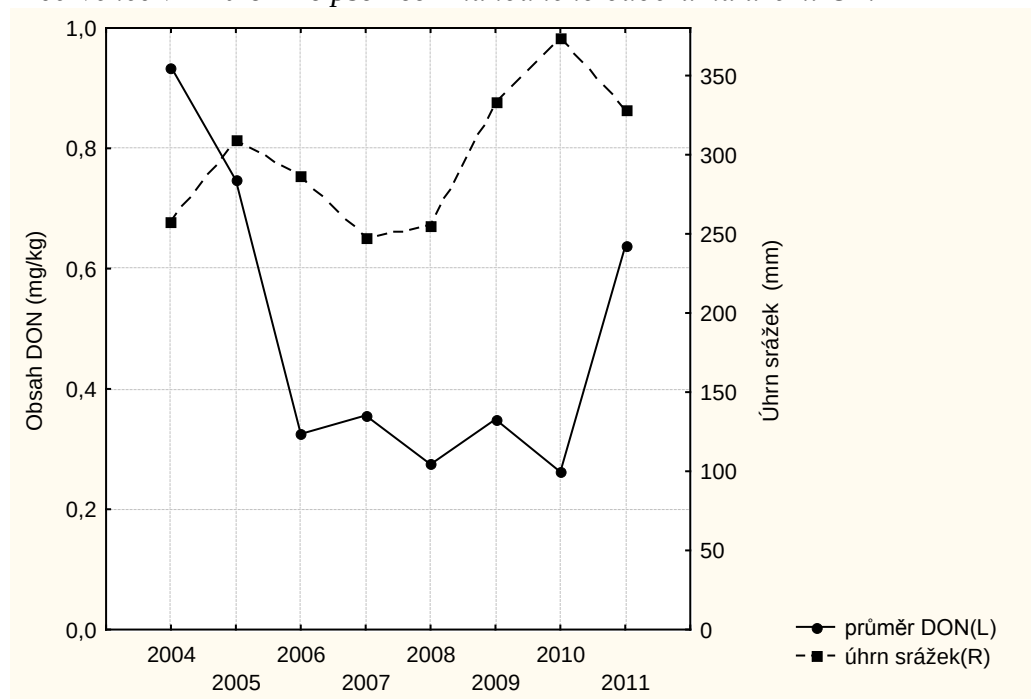
V rámci analýzy provedené v letech 2004-2009 /1/ bylo zjištěno, že v České republice existují oblasti se zvýšeným výskytem fuzarióz. Nejohroženější byl opakovaně východ Moravy, v jihozápadních a jižních Čechách okresy Plzeň-jih, Domažlice, Rokycany, Klatovy a České Budějovice a na severovýchodě Čech okresy Česká Lípa a Trutnov. Poznotek, že vysoce podlimitní obsah DON byl zjištěn při srážkách nižších než 10 mm v období 10 dnů před kvetením, vede k praktickým závěrům uplatnitelným při rozhodování o použití fungicidní ochrany. Ročníky s vysokým obsahem DON lze charakterizovat podprůměrnými teplotami a nadprůměrnými či průměrnými srážkami v rozhodujících etapách vývoje choroby. Toto zjištění podporují další údaje, kdy pro hodnocení byl využitý celkový úhrn srážek v měsících květnu, červnu a červenci a průměrná teplota v těchto měsících. Z grafu 1 je zřejmé, že nižší průměrná teplota v měsících květnu, červnu a červenci může vést k vyšší akumulaci DON (průměr ze všech odebraných vzorků). Vliv srážek nelze na základě celkového srážkového úhrnu za 3 měsíce spolehlivě vyhodnotit (Graf 2). Dle předchozích zjištění /1/ vysoká kontaminace zrna mykotoxiny byla spojena s vysokým úhrnem srážek 10 dní před kvetením, jakož i bezprostředně po infekci. Nejvyšší průměrný obsah DON byl v této studii zjištěn v ročnících 2004 a 2011. V roce 2004 byl sice celkově nižší úhrn srážek ve sledovaných 3 měsících, od konce dubna však přicházely lokální přívalové srážky a důležitou roli nepochybně sehrálo ochlazení s přeháňkami, ke kterému došlo od začátku června. Později se vyskytovaly lokálně přívalové deště, takže červen byl srážkově nadnormální. Porosty byly lokálně podmačeny a došlo k nárůstu výskytu houbových chorob obecně. Ročník 2011 můžeme charakterizovat podprůměrnými srážkami v měsících květnu a červnu, ale výrazně nadprůměrnými srážkami v červenci (184 %), což zřejmě přispělo k výraznému



nárůstu akumulace DON. V obou ročnících 2004 i 2011 byly také ve sledovaném období relativně nižší teploty.



Graf 1: Průměrný obsah mykotoxinu DON v závislosti na průměrné teplotě za období květen-červenec v zrně ozimé pšenice z náhodného odběru na území ČR.



Graf 2: Vliv srážkového úhrnu v měsících květnu, červnu a červenci na obsah mykotoxinu DON v zrně pšenice

### Listové choroby

Obecně můžeme konstatovat, že listové choroby se vyskytují každoročně v různé intenzitě v závislosti na lokalitě a stavu porostu. K rozvoji listových chorob přispívá kromě povětrnostních vlivů i hustota porostu a intenzita pěstování (zvláště u padlí travního). Listové choroby se mohou objevit za příznivých podmínek u časně založených porostů už na podzim

(především padlí travní). Vyskytovat se mohou i v průběhu mírné zimy, jako tomu bylo např. v zimě 2007, kdy v období od začátku ledna téměř do konce března byl pozorován střední výskyt světle hnědé skvrnitosti pšenice (*Pyrenophora tritici-repentis*) v okrese Litoměřice. Rozvoj houbových chorob podmiňují více dlouhodobé srážky vedoucí k udržování vlhkosti v porostech až k jejich podmáčení. Např. v červenci 2009 v okresech Karlovy Vary, Klatovy, Sokolov, Tachov i jinde byly porosty obilnin následkem častých srážek podmáčené, silně napadené listovými skvrnitostmi a zvyšovalo se u nich i napadení klasů patogeny *Fusarium* spp. a *Alternaria* spp.

Ve sledovaném období byl zaznamenán pravidelný výskyt rzi pšeničné (*Puccinia tritica*). Tato choroba se udržuje na rostlinách pšenice v dikaryotickém stadiu a přezimuje jako mycelium v listech ozimů. Na jaře se šíří letními výtrusy (urediospórami), pro šíření potřebuje teplé počasí. Infekční tlak je významně ovlivněn zejména včasným přenosem urediospor z teplejších oblastí jihovýchodní Evropy.

Např. v roce 2008 byl první ojedinělý výskyt rzi pšeničné zjištěn již na přelomu března a dubna v okrese Vsetín. Opakovaně byl výskyt této choroby zaznamenán v okrese Jeseník. Ohniskové výskyty však byly zaznamenány i jinde (okres Přerov, Chrudim, Olomouc, Břeclav, Znojmo, Svitavy, Vsetín, Uherské Hradiště). Výskyt byl zaznamenán především u náchylných odrůd.

Pro silné výskyty rzi pšeničné u nás tvoří pravidla hranici Českomoravská vrchovina. Největší škody působí tato rez na jižní Moravě, na západ od Českomoravské vrchoviny bývají výskyty slabší a nejméně bývá ohrožena oblast Žatecka. V letech, kdy se vyskytla rez travní, bylo její rozšíření lokalizováno rovněž na jižní Moravě. V obou případech jsou příznivým faktorem pro výskyt a šíření vyšší teploty.

Výskyt rzi plevové v České republice není pravidelný, nebo se vyskytuje pouze lokálně. Dlouhodobě má větší význam především v západní Evropě, kde jsou vhodnější podmínky pro její rozvoj. K nám se tato rez šíří ze severozápadu, z oblastí s chladnějším a vlhčím klimatem. Poslední epidemický výskyt byl u nás zaznamenán v letech 1999-2001. V poslední době se zde vyskytovala jen ojediněle, což bylo z větší části způsobeno pěstováním odrůd převážně odolných k populaci rzi plevové u nás. Od roku 2009 se v západní Evropě začaly objevovat rozdíly v hodnocení rezistence odrůd pšenice a tritikale, odrůdy, které měly dříve vysoký stupeň odolnosti, jsou nyní středně rezistentní nebo náchylné. Zejména v Dánsku, Belgii, Holandsku a v chladnějších zaalpských oblastech Švýcarska se začala takto projevovat nová virulence rzi plevové, která byla později, v roce 2012, identifikována jako nová rasa s označením 478E478. Rasa byla zaznamenána i v Německu. V České republice zatím virulence zmíněné rasy nebyla zaznamenána. Šíření rzi plevové při změnách rasového spektra nebo při pěstování náchylných odrůd je však pravděpodobné i v našich podmínkách.

V letošním roce byly zaznamenány ojedinělé výskyty rzi plevové v okresech (Hradec Králové, Ústí nad Orlicí, Břeclav, Benešov, Opava, Vyškov, Blansko, Kroměříž, Pardubice, Brno – venkov.

### **Virové choroby obilovin**

Z virových chorob obilnin jsou ekonomicky významné dvě choroby – virová zakrslost pšenice (WDV) a žlutá zakrslost ječmene (BYDV). Za závažné můžeme považovat obě choroby, které střídavě nabývají na významu a mohou působit významné výnosové ztráty

v porostech pšenice i ječmene. Virus zakrslosti pšenice napadá pšenici, ječmen, oves a některé druhy trav. Chorobu přenáší nymfy a imága kříška polního (*Psammotettix alienus*). Virus žluté zakrslosti ječmene je perzistentně přenosný četnými druhy mšic (*Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae* a *Metopolophium dirhodum*). Přítomnost virů v rostlině nelze s jistotou určit jen na základě přítomnosti symptomů, protože mohou být zaměnitelné s jinými fyziologickými stresy (např. mraz, sucho, nedostatek fosforu). Vždy je nutné potvrzení laboratorní analýzou (ELISA) odebraného vzorku rostlinné tkáně.

Obilniny jsou u nás infikovány oběma viry ve dvou fázích. K první fázi infekcí dochází na podzim při migraci přenašečů z výdrolů na vzházející ozimy. Část kříšů a mšic může migrovat z travních ploch, mšice kromě toho i z kukuřice, není-li sklizena. Intenzivní migrace přenašečů trvá do nástupu chladného počasí, infekce rostlin do příchodu mrazů. Druhé období nákaz ozimých a jarních obilnin probíhá na jaře a v létě ve fázi jejich sloupkování a později. K výskytu hlavních viróz na ozimých a jarních obilninách dochází u nás každým rokem. Intenzita bývá někdy sporadická, jindy dosahuje vyšší úrovně. Kalamitní výskyt BYDV byl naposledy zaznamenán v roce 2002. V dalších letech převažoval výskyt WDV až do jarního období roku 2007, na podzim tohoto roku byl již dominantní BYDV a došlo ke značným poškozením porostů především v některých lokalitách (Kladensko, Přerov, Prostějov a Kroměříž). Intenzita napadení však nedosáhla úrovně kalamitního roku 2002. V roce 2008 byl také zjištěn převládající výskyt BYDV. Plošný rozsah infekce virovými zakrslostmi byl v obou sledovaných obdobích roku 2007 i 2008 obdobný a koncentroval se do stejných oblastí jako v roce 2007 – nížinné oblasti Čech a Moravy. V roce 2009 byl zjištěn výskyt WDV i BYDV s převahou BYDV a výskytem směsných infekcí. Ve většině případů se jednalo o slabé napadení porostů, případně střední s ohniskovým výskytem. Oproti jaru 2009 byl na jaře 2010 zaznamenán vyšší výskyt virovými zakrslostmi napadených porostů obilnin. Na rozdíl od jara 2009 převažoval v jarním období roku 2010 výskyt WDV, i když infekce BYDV se také vyskytovala. Na jaře 2011 byl zaznamenán nižší výskyt virovými zakrslostmi napadených porostů obilnin. Na podzim 2011 byl zjištěn výskyt napadení virózami na stejné úrovni jako v roce 2010, přičemž jednoznačně převažoval virus WDV. Na podzim 2011 byl oproti stejnému období roku 2010 zaznamenán především výrazně vyšší podíl silného výskytu kříška polního. V roce 2012 došlo k četnému výskytu WDV. Toto napadení především na Moravě spolu se silným poškozením mrazem a suchem přispělo k výnosovému propadu.

Výskyt WDV především na pšenici ozimé ale i na ozimém ječmeni byl hlášen z okresů Znojmo, Břeclav, Blansko, Kroměříž, Vyškov, Prostějov a Jeseník. V Čechách byl výskyt zaznamenán v okresech Praha - západ, Kladno, Kolín, Litoměřice, Č. Lípa, Most, Semily, Náchod, Plzeň - jih, Havlíčkův Brod, Rychnov n. Kněžnou, Pardubice, Svitavy. Pouze v okresech Semily a Svitavy byl zaznamenán i výskyt BYDV. Na podzim 2012 je hlášen četný výskyt kříška polního z celého území ČR. Napadení WDV bylo zaznamenáno ve výdrolu pšenice ozimé v okresech Kladno, H. Brod, Chrudim, Svitavy, Ústí n. Orlicí a ozimého ječmene (Hradec Králové, Náchod, Ústí n. Orlicí) i u nově založeného porostu pšenice ozimé (okr. Kladno). Riziko přenosu WDV je poměrně velké, zvláště u časně setých insekticidně neošetřených porostů ozimů.

Zvýšenému výskytu viróz předchází ročník s klimatickými podmínkami vhodnými pro rozvoj přenašečů. Dlouhý a teplý podzim má vliv na aktivitu přenašečů virových chorob, teplá zima může umožnit přezimování dospělců, kteří jsou schopni časně jarní infekce. Údaje o

těchto vlivech jsou známy a opakovaně se objevují ve vědecké literatuře /3, 4/. Skutečnosti, proč v některých ročnících převládá WDV a v jiných BYDV, bude ještě třeba věnovat pozornost.

## **ZÁVĚR**

Z výše uvedených údajů vyplývají následující závěry:

- Výskyt chorob úzce souvisí jednak s průběhem počasí v daném ročníku, ale i s klimatickou charakteristikou určitých oblastí, kde se opakovaně objevují některé choroby, např. opakovaný výskyt viróz na Kladensku, v některých částech Moravy jsou oblasti rizikové pro výskyt fuzarióz klasu.
- Významnou roli při výskytu a rozšíření chorob hrají i agrotechnická opatření (osevní postup, použité pěstební technologie, úroveň výživy, chemická ochrana).
- Je třeba, aby pracovníci v zemědělské praxi si byli vědomi rizik opakovaného výskytu chorob v některých oblastech a byli na tuto skutečnost připraveni (výběr odrůd s vyšší rezistencí, včasná aplikace chemické ochrany apod.).
- Účinným nástrojem, který může pomoci čelit dopadu klimatických změn, může být predikce rozvoje chorob za spoluúčasti vědeckých pracovníků, pěstitelů, poradců, šlechtitelů, zástupců agrochemického průmyslu i politiků /6/.

## **LITERATURA**

- /1/ Bártová, Š., Šíp, V., Chrpová, J., Štočková, L.: Klasové fuzariózy pšenice a predikce rizika napadení. Úroda, 58, 2010: 8 – 10.
- /2/ Coakley, S. M., Scherm, H., Chakraborty, S.: Climate change and plant disease management. Annual Review of Phytopathology, 37, 1999: 399–426.
- /3/ Comas, J., Pons, X., Albajes, R., Plumb, R. T.: Barley yellow dwarf virus strain incidence in small grain cereals in Northeast Spain. J. Phytopathology, 143, 1995: 609–611.
- /4/ Harrington, R., Stork, N. E.: Insects in a changing environment: 17th Symposium of the Royal Entomological Society, 7–10 September 1993 at Rothamsted Experimental Station, Harpenden, 1995: 535 p.
- /5/ Shaw, M. W., Bearchell, S. J., Fitt, B. D. L., Fraaije, B. A.: Long-term relationships between environment and abundance in wheat of *Phaeosphaeria nodorum* and *Mycosphaerella graminicola*. New Phytologist, 177, 1995: 229–238.
- /6/ West, J. S., Townsend J. A., Stevens M., Fitt B. D. L.: Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe. Eur J Plant Pathol 133, 2012: 315–331.

## VLIV POČASÍ NA NÁSTUP FENOLOGICKÝCH FÁZÍ OLŠE LEPKAVÉ (*ALNUS GLUTINOSA*)

### *PHENOPHASE ONSETS OF COMMON ALDER DEPENDING ON WEATHER*

Věra Kožnarová<sup>1</sup>, Lenka Hájková<sup>2,3</sup>, Soňa Bachanová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát, koznarova@af.czu.cz,

<sup>2</sup>Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ústí nad Labem, Kočkovská 18, 400 11 Ústí nad Labem – Kočkov, <sup>3</sup>Univerzita Karlova, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha, hajkova@chmi.cz

#### *Summary*

This paper deals with phenophase onsets connected with pollen production (inflorescence emergence, beginning of flowering 10 % and end of flowering) in common alder (*Alnus glutinosa*). Data were processed in the period 1991–2010. Subsequent statistical parameters were executed. Data were processed in the GIS (Clidata-GIS). Climatological characteristics (air temperature, sunshine duration, number of days with precipitation total > 1 mm, pentad air temperature) to phenophase onset and in the phenophase intervals (inflorescence emergence-beginning of flowering 10 %; beginning of flowering 10 % - end of flowering) were calculated. The occurrence of synoptic weather situation was evaluated in the period of flowering.

*Key words: phenology, phenophase, beginning of flowering, end of flowering, common alder, GIS, synoptic situation*

#### *Souhrn*

Příspěvek se věnuje nástupu vybraných fenologických fází spojených s produkcí pylu (butonizace, počátek kvetení 10 % a konec kvetení) u olše lepkavé (*Alnus glutinosa*). Ze vstupních fenologických dat za období 1991–2010 byly spočteny základní statistické parametry. Současně byly vyhodnoceny vybrané klimatologické charakteristiky (teplota vzduchu, sluneční svit, počet dní s úhrnem srážek > 1 mm, pentádní teplota vzduchu) ke dni nástupu fenofáze a ve fenofázových intervalech butonizace - počátek kvetení 10 %, počátek kvetení 10% - konec kvetení. Průměrná data nástupu fenofáze byla zpracována v prostředí geografických systémů (Clidata-GIS). V době kvetení byly vyhodnoceny nečetnější synoptické situace.

*Klíčová slova: fenologie, fenofáze, počátek kvetení, konec kvetení, olše lepkavá, GIS*

## ÚVOD

Fenologická pozorování na území ČR mají dlouholetou tradici, součástí české hydrometeorologické služby se staly v roce 1939. V roce 1983 a následně v roce 1987 byly provedeny rozsáhlé transformace fenologické sítě ČHMÚ /1/.

Ve fenologické síti ČHMÚ jsou pozorovány i rostlinné druhy, které jsou řazeny do skupiny významných pylových alergenů - např. bříza bělokorá (*Betula pendula*), líska obecná (*Corylus avellana*), srha říznáčka (*Dactylis glomerata*). Do zpracování byl vzhledem k rozsahu práce záměrně vybrán pouze jeden zástupce z čeledi břízovitých (Betulaceae).



Pylová zrna olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) patří mezi významné pylové alergeny. Prokázán v nich byl jako hlavní alergen Aln g 1 (Špičák, Panzner et al., 2004). Zrna jsou oválná a zploštělá, 20 až 26  $\mu\text{m}$  velká se čtyřmi nebo pěti aperturami. Olši lepkavou nalezneme všude na vlhkých stanovištích s dobře přístupnou podzemní vodou – v lužních lesích podél řek i menších toků, na březích a v mokřinách kolem rybníků, ve vlhkých partiích lesů (kořenový systém velmi závisí na výšce hladiny spodní vody).

Obr. 1 Olše lepkavá (*Alnus glutinosa*)

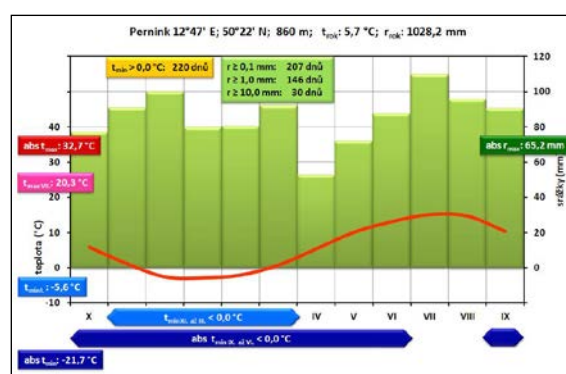
## MATERIÁL A METODY

Ve fenologické síti ČHMÚ stanic lesních rostlin je olše lepkavá součástí pozorovacího programu. Podle Metodického předpisu č. 10 /2/ je u olše sledováno 16 fenofází: rašení (10 %), první listy (10, 50, 100 %), plné olistění (100 %), butonizace (10 %), počátek kvetení (10, 50, 100 %), konec kvetení (100 %), tvorba pupenů (10 %), janské výhony (10 %), dřevnatění výhonů (10 %), opad listů (10, 100 %), zralost plodů (10 %). Do zpracování byly vybrány pouze fenologické fáze související s trváním pylové sezony (počátek kvetení 10 % a konec kvetení) a dále fenofázi butonizace (tzv. prodlužování jehněd – samčích květenství), která bezprostředně předchází fenofázi počátek kvetení 10 %. V textu i při vyhodnocení bylo použito mezinárodně přijaté kódování fenologických fází systémem BBCH podle /3/ souvisejících s dobou kvetení: butonizace (BBCH 51), počátek kvetení 10 % (BBCH 61) a konec kvetení (BBCH 69).

Na území ČR je olše lepkavá sledována v oblastech s nadmořskou výškou od 155 m (Doksany) po 860 m (Pernink). Jejich základní klimatologické charakteristiky jsou na obr. 2 a 3. K popisu klimatických podmínek na těchto lokalitách byl použit modifikovaný Walter Liethův klimogram podle /4/ a /5/ založený na použití dlouhodobého průměru z období 1991 až 2010, využívající vyjádření pomocí agrometeorologického roku a doplněného o srážkové informace.



Obr. 2: Klimogram stanice Lednice



Obr. 3: Klimogram stanice Pernink

Fenologická data ze stanic ČHMÚ byla pro tuto analýzu exportována z fenologické databáze FENODATA. Data z těchto stanic byla vyhodnocena v různých výškových stupních za období 1991–2010 pomocí programu Microsoft Excel (základní statistické metody) a geografických informačních systémů ArcView 3.2, Clidata-GIS, metoda Clidata-DEM.

Zpracování v prostředí GIS bylo zvoleno z důvodu plošného vyjádření časové variability nástupu vybrané fenologické fáze na území České republiky.

Jako vstupní data do geografických informačních systémů jsme použili průměrné datum nástupu fenofáze. Z meteorologických prvků jsme vybrali ke zpracování teplotu vzduchu vyjádřenou jako teplotní sumu ode dne nástupu fenofáze včetně do dne nástupu následující fenofáze (tento den se již do výpočtu nezapočítává). Podobný postup byl zvolen i u dalších prvků - sluneční svit a počet dnů se srážkovým úhrnem větším nebo rovným 1 mm. Pro popis data nástupu fenofáze byla vybrána pentádní teplota vzduchu (tj. 5denní průměr průměrné denní teploty vzduchu ke dni nástupu fenofáze – den nástupu fenofáze již nebyl do výpočtu zahrnut). Vybrané feno-klimatické charakteristiky byly spočteny na základě technických řad pro geografické souřadnice fenologických stanic podle /6/ a /7/.

Pro analyzovaná období, tj. trvání intervalu od butonizace (BBCH 51) do počátku kvetení 10 % (BBCH 61) a intervalu kvetení (BBCH 61 až BBCH 69) byly vyhodnoceny synoptické situace, které se v dvacetiletém období vyskytly pomocí materiálů ČHMÚ /8/.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Tabulka 1 uvádí výsledky nástupu fenofází v různých výškových pásmech, kromě průměrné hodnoty nástupu fenofáze je uvedena hodnota mediánu, dolního a horního kvartilu, směrodatná odchylka a variační koeficient.

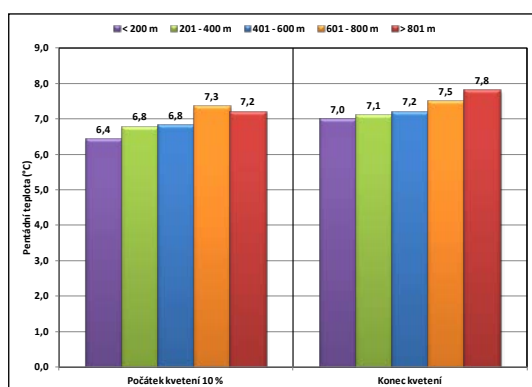
Tab. 1 Statistické charakteristiky popisující fenologickou fázi.

| <b>Butonizace<br/>(BBCH 51)</b>           | <b>nadmořská výška (m)</b> |                   |                   |                   |              |
|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
|                                           | <b>≤ 200</b>               | <b>201 až 400</b> | <b>401 až 600</b> | <b>601 až 800</b> | <b>≥ 801</b> |
| Dolní kvartil                             | 17. II.                    | 25. II.           | 25. II.           | 10. III.          | 20. III.     |
| Průměr                                    | 2. III.                    | 9. III.           | 11. III.          | 19. III.          | 30. III.     |
| Medián                                    | 4. III.                    | 8. III.           | 11. III.          | 17. III.          | 30. III.     |
| Horní kvartil                             | 17. III.                   | 22. III.          | 24. III.          | 1. IV.            | 6. IV.       |
| Směrodatná odchylka                       | 13,1                       | 9,7               | 13,1              | 13,7              | 12,0         |
| Variační koef. ( $s_x$ %)                 | 21,48                      | 14,32             | 18,71             | 17,56             | 13,48        |
| <b>Počátek kvetení 10 %<br/>(BBCH 61)</b> | <b>nadmořská výška (m)</b> |                   |                   |                   |              |
|                                           | <b>≤ 200</b>               | <b>201 až 400</b> | <b>401 až 600</b> | <b>601 až 800</b> | <b>≥ 801</b> |
| Dolní kvartil                             | 1. III.                    | 4. III.           | 6. III.           | 17. III.          | 3. IV.       |
| Průměr                                    | 6. III.                    | 13. III.          | 20. III.          | 26. III.          | 2. IV.       |
| Medián                                    | 7. III.                    | 14. III.          | 20. III.          | 25. III.          | 1. IV.       |
| Horní kvartil                             | 23. III.                   | 24. III.          | 4. IV.            | 15. IV.           | 25. IV.      |
| Směrodatná odchylka                       | 13,1                       | 13,1              | 13,3              | 12,1              | 12,4         |
| Variační koef. ( $s_x$ %)                 | 20,15                      | 18,19             | 16,83             | 14,23             | 13,48        |
| <b>Konec kvetení<br/>(BBCH 69)</b>        | <b>nadmořská výška (m)</b> |                   |                   |                   |              |
|                                           | <b>≤ 200</b>               | <b>201 až 400</b> | <b>401 až 600</b> | <b>601 až 800</b> | <b>≥ 801</b> |
| Dolní kvartil                             | 23. III.                   | 23. III.          | 27. III.          | 5. IV.            | 14. IV.      |
| Průměr                                    | 27. III.                   | 1. IV.            | 6. IV.            | 12. IV.           | 19. IV.      |
| Medián                                    | 28. III.                   | 1. IV.            | 7. IV.            | 15. IV.           | 20. IV.      |
| Horní kvartil                             | 6. IV.                     | 12. IV.           | 19. IV.           | 26. IV.           | 9. V.        |
| Směrodatná odchylka                       | 14,6                       | 13,4              | 12,8              | 11,1              | 11,9         |
| Variační koef. ( $s_x$ %)                 | 16,98                      | 14,73             | 14,88             | 10,88             | 10,92        |

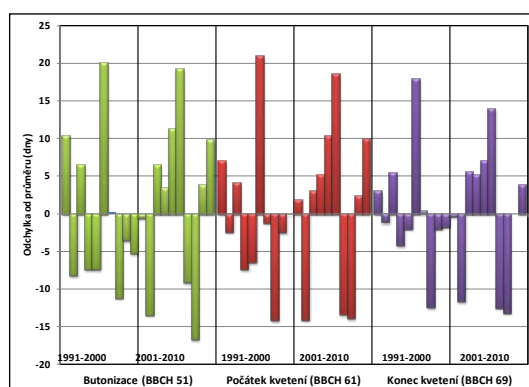
Pro hodnocení teplotních podmínek před nástupem sledované fenofáze byla zvolena pentádní teplota ke dni nástupu fenofáze počátek kvetení 10 % (BBCH 61) a konec kvetení (BBCH 69) v jednotlivých výškových pásmech (obr. 4).

Odchylky nástupu fenofází butonizace (BBCH 51), počátek kvetení 10 % (BBCH 61) a konec kvetení (BBCH 69) za období od 1991 do 2010 na obr. 5 ukazují variabilitu nástupu v jednotlivých letech. Nástupy fenofází byly výrazně urychleny v letech 1998, 2002, 2007 a 2008, naopak nejvíce opožděny byly v letech 1996, 2005 a 2006.

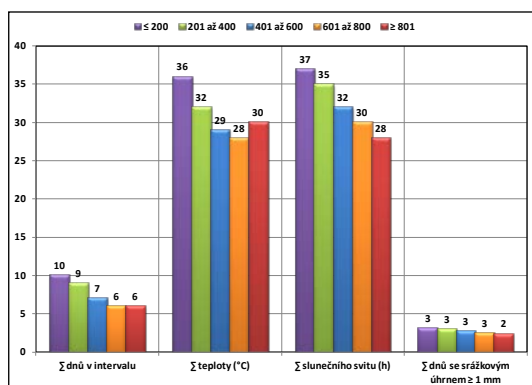
V dalším zpracování byly zvoleny dva časové intervaly: od nástupu fenofáze butonizace po počátek kvetení 10 % (BBCH 51 až BBCH 61) a období kvetení v jednotlivých výškových pásmech (BBCH 61 až BBCH 69). Trvání intervalů bylo doplněno o klimatologické charakteristiky (teplota vzduchu, sluneční svit a počet dní s úhrnem srážek > 1 mm), výsledky jsou uvedeny na obr. 6 a 7.



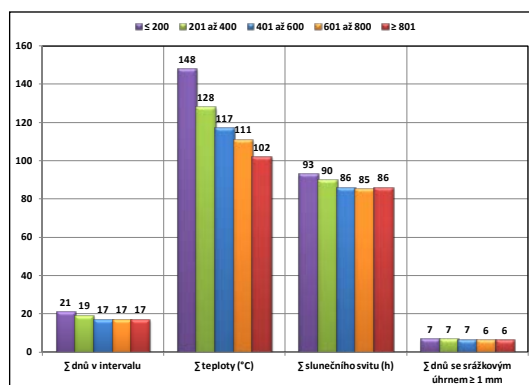
Obr. 4: Pentádní teplota vzduchu (°C) ke dni nástupu dané fenofáze



Obr. 5: Odchylky nástupu fenofází od dlouhodobého průměru 1991–2010



Obr. 6: Klimatologické charakteristiky od nástupu butonizace do počátku kvetení 10 % (BBCH 51–BBCH 61)

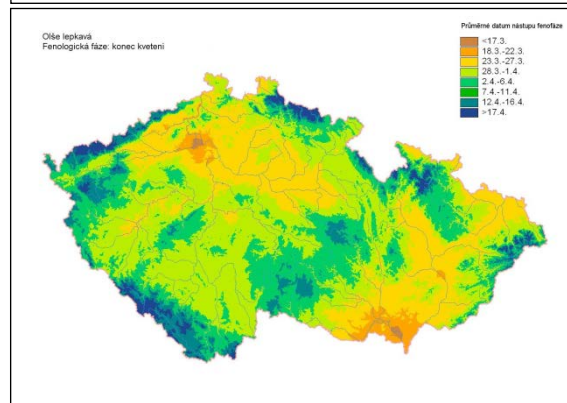
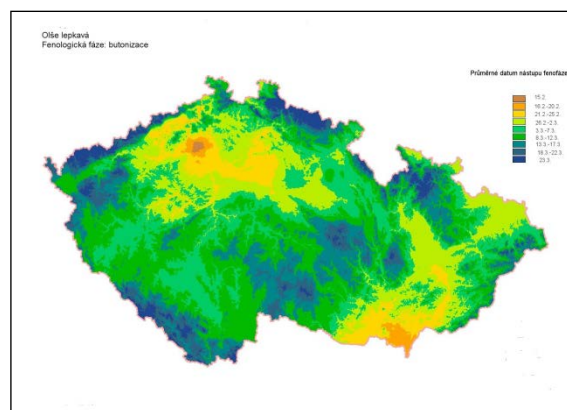
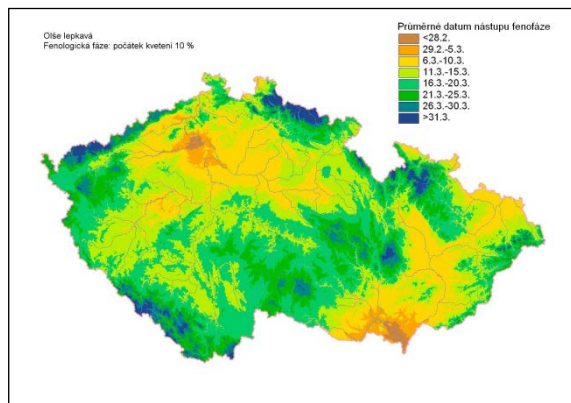


Obr. 7: Klimatologické charakteristiky v období kvetení, tj. od počátku kvetení 10 % do konce kvetení ((BBCH 61–BBCH 69)



Mapové vyjádření (obr. 8 až 10) poskytuje plošnou celorepublikovou informaci o průměrném datu nástupu butonizace (BBCH 51), počátku kvetení 10 % (BBCH 61) a konce kvetení olše lepkavé (BBCH 69).

Obr. 8 Průměrné datum butonizace

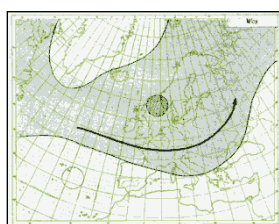


Obr. 9 Průměrné datum počátku kvetení 10%

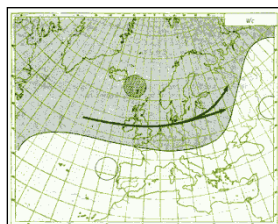
Obr. 10 Průměrné datum konce kvetení

Pro oba intervaly byly zpracovány četnosti výskytu synoptických situací. Pro období od butonizace po počátek kvetení se nejčastěji vyskytovala západní cyklonální situace (Wc) západní cyklonální situace s jižní dráhou (Wcs) a anticyklona nad střední Evropou (A). V období kvetení byl častý výskyt i brázdy nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou (B).

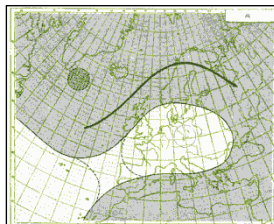
| Interval BBCH 51 až BBCH 61 |                  |                   |                   |                 | Interval BBCH 61 až BBCH 69 |                   |                 |                  |                |
|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ≤ 200                       | 201-400          | 401-600           | 601-800           | ≥ 801           | ≤ 200                       | 201-400           | 401-600         | 601-800          | ≥ 801          |
| 2. III.–5. III.             | 9. III.–12. III. | 11. III.–19. III. | 19. III.–25. III. | 30. III.–1. IV. | 6. III.–26. III.            | 13. III.–31. III. | 20. III.–5. IV. | 26. III.–11. IV. | 2. IV.–18. IV. |
| Wcs                         | Wc               | Wc                | Wc                | A               | Wc                          | Wc                | B               | B                | B              |
| B                           | Bp               | NWc               | B                 | SEa             | NWc                         | Vfz               | Wc              | NEc              | NEc            |
| Bp                          | NWc              | Vfz               | Vfz               | NEa             | Bp                          | NWc               | NEc             | Bp               | Bp             |
| Wc                          | A                | A                 | Nc                | NEc             | Vfz                         | NEc               | A               | NWc              | C              |
| Nc                          | SEa              | SEa               | NEc               | SWc1            | A                           | B                 | Vfz             | NEa              | Wc             |



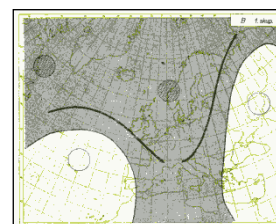
Obr. 11  
Wcs – západní  
cyklonální situace  
s jižní dráhou



Obr. 12  
Wc – západní  
cyklonální situace



Obr. 13  
A – anticyklóna nad  
střední Evropou



Obr. 14  
B – brázda nízkého  
tlaku vzduchu nad  
střední Evropou

## ZÁVĚR

Olše lepkavá patří mezi významné pylové alergeny, informace o časovém nástupu kvetení může být významnou pomůckou pro alergologicky senzitivní jedince na pylová zrna těchto rostlinných druhů.

V příspěvku byla vyhodnocena časová variabilita nástupu vybraných fenologických fází charakterizujících trvání kvetení (počátek kvetení 10 % a konec kvetení) včetně fenofáze butonizace u olše lepkavé v České republice v jednotlivých výškových stupních v letech 1991–2010. Průměrné datum nástupu butonizace se u olše lepkavé pohybuje od 2. března do 30. března, u počátku kvetení od 6. března do 2. dubna a u fenofáze konec kvetení od 27. března do 19. dubna. Pentádní teplota vzduchu ke dni nástupu fenofáze má jednoznačně klesající tendenci se stoupající nadmořskou výškou, stejně tak i suma teploty vzduchu, trvání slunečního svitu a počet dní se srážkovým úhrnem > 1 mm ve vybraných mezifázových intervalech. Prostorová variabilita průměrného data nástupu fenofáze z období 1991–2010 byla vyjádřena pomocí map za použití vertikálního a horizontálního gradientu. V Polabské nížině a moravských úvalech nastupují zpracované fenologické fáze většinou nejdříve, naopak v části pohraničních pohoří nejpozději. Pro období od butonizace po počátek kvetení se nejčastěji vyskytovala západní cyklonální situace (Wc) západní cyklonální situace s jižní dráhou (Wcs) a anticyklona nad střední Evropou (A). V období kvetení byl častý výskyt i brázdy nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou (B).

## LITERATURA

- /1/ Krška, K.: Fenologie jako nauka, metoda a prostředek. In: ROŽNOVSKÝ, J., T. LITSCHMANN A I. VYSKOT, eds. *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. Sborník z mezinárodního vědeckého semináře, Brno 22. 3. 2006. Praha, ČHMÚ, ISBN 80-86690-35-0. 2006: 4–8.
- /2/ Anonymus: Návod pro činnost fenologických stanic – lesní rostliny. Metodický předpis č. 10. Praha, ČHMÚ. 2009: 84 s.
- /3/ Meier, U et al.: Growth stages of Mono- and Dicotyledonous plant. BBCH Monograph. Berlin – Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag, ISBN 3-8263-3152-4. 1997: 5 s.
- /4/ Kožnarová, V., Klabzuba, J.: Tradiční i moderní metody hodnocení počasí a podnebí v biologických disciplínách. Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly). Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, ISBN 978-80-7427-023-9. 2010: 4–33.
- /5/ Kožnarová, V., Sulovská, S., Hájková, L.: Časová variabilita nástupu fenofází ovocných dřevin sledovaných ve fenologické síti ČHMÚ za období 1991–2010 ve vztahu k synoptickým situacím. In: Salaš P. (ed): Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu. Lednice 20. – 21. 10. 2011, Úroda, vědecká příloha, ISSN 0139-6013. 2011: 285–295,
- /6/ Štěpánek, P.: AnClim – software for time series analysis. Department of Geography, Faculty of Natural Science, MU, Brno, 1.47 MB. 2010: <<http://www.climahom.eu/AnClim.html>>
- /7/ Štěpánek, P.: ProClimDB – software for processing climatological datasets. CHMI, regional office Brno 2010: <<http://www.climahom.eu/ProcData.html>>
- /8/ Typizace povětrnostních situací pro území České republiky <<http://synopinfo.wz.cz/typizace/>>

## Poděkování

Příspěvek byl zpracován a publikován s podporou projektu SVV-2011-263202” Specifický vysokoškolský výzkum a S grantu MŠMT.

## **VLIV ZVÝŠENÉHO CO<sub>2</sub> NA VYBRANÉ PARAMETRY PRIMÁRNÍ A SEKUNDÁRNÍ STRUKTURY SMRKU ZTEPILÉHO**

### ***SELECTED PARAMETERS OF PRIMARY AND SECONDARY STRUCTURE UNDER THE IMPACT OF ELEVATED CO<sub>2</sub>***

<sup>1,2</sup> Radek Pokorný, <sup>3</sup> Ivana Tomášková

<sup>1</sup> Centrum výzkumu globální změny Akademie věd ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, pokorny.r@czechglobe.cz

<sup>2</sup> Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav zakládání a pěstění lesů, Zemědělská 3, 613 00 Brno, radek.pokorny@mendelu.cz

<sup>3</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra dendrologie a šlechtění lesních dřevin, Kamýcká 129, 165 21, Praha 6 – Suchbátka, tomaskova@fld.czu.cz

#### ***Summary***

The effect of elevated CO<sub>2</sub> on the selected parameters of primary and secondary structure in 16-years old individuals of Norway spruce was evaluated. After 6 years of fumigation higher number of shoots by 19 % within the whole crown profile in elevated CO<sub>2</sub> concentration was found comparing to the ambient one. Similarly the number of secondary shoots on branches and stems was enhanced by more than 50 %. The assimilation area enhancement is probably connected with the greater root absorbing area forming under the elevated CO<sub>2</sub> impact and with the effort to increase number of places for carbon sink.

*Key words: carbon sink, elevated CO<sub>2</sub>, Norway spruce, primary branching, secondary branching*

#### ***Souhrn***

Byla hodnocena odezva vybraných parametrů primární a sekundární struktury u 16letých jedinců smrku ztepilého rostoucích po vlivem zvýšeného CO<sub>2</sub> a v běžné koncentraci. Po 6 letech fumigace bylo zjištěno, že primární struktura reagovala na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> navýšením počtu letorostů v celém profilu koruny o 19 % oproti běžné koncentraci CO<sub>2</sub>. Podobně se zvýšil počet sekundárních letorostů na větvích a kmenech, a to o více než 50 %. Zvýšení plochy asimilačního aparátu je pravděpodobně reakcí na větší absorpční plochu kořenového systému smrků, který se vytváří pod vlivem zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> a snaha o zvýšení počtu uhlíkových uložišť.

*Klíčová slova: primární větvení, sekundární větvení, smrk ztepilý, uhlíkový sink, zvýšené CO<sub>2</sub>*

## **ÚVOD**

Strukturální vlastnosti stromu – především jeho primární struktura - jsou dány jeho genetickou predispozicí a vnějšími faktory. Podle práce /8/ je vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> na růst nadzemní biomasy pozitivní – až 66 % prací uvádí nárůst nadzemní biomasy oproti kontrolním podmínkám běžné koncentrace, mimo jiné je pozorován vyšší počet větví, podobně jako práce /2/ uvádějící vyšší počet přeslenových větví. Sekundární struktura, do které řadíme i sekundární větvení je výrazně ovlivnitelná mnoha faktory: 1. druh dřeviny – sekundární větve jsou mnohem častější u krytosemenných než u nahosemenných /6/, 2. věk dřevin – počet sekundárních větví stoupá s věkem a u starých stromů může tvořit 40-100 % z

celkového asimilačního aparátu /4/, 3. vliv vnějších faktorů jako poškození např. hmyzem nebo změna dostupnosti živin /13/, příp. zvýšená expozice ke světlu zvyšuje počet sekundárních letorostů /10/. Naše hypotéza předpokládá nárůst primárního a sekundárního větvení jako snahu o zvýšení počtu uhlíkových uložišť u stromů rostoucí ve zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub>.

## MATERIÁL A METODA

Data byla získána na Experimentálním ekologickém pracovišti Bílý Kříž v Moravskoslezských Beskydech (S 49°30', V 18°32', 908 m n.m., horská oblast). V roce 1997 zde byly postaveny lamelové kultivační minisféry s rozdílnou koncentrací CO<sub>2</sub> – sféra s běžnou koncentrací CO<sub>2</sub> (A, 370 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> – průměr za sledované období od roku 1998 do 2002 a dvojnásobnou koncentrací CO<sub>2</sub> (E, 700 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>). Vysazený porost smrku ztepilého ve věku 10 let vyrůstal ve dvou koncentracích CO<sub>2</sub>, ale zároveň v klimatických podmínkách, které se nelišily od vnějšího prostředí (více informací /11/). Po 6 letech byly stromy ze sfér odstraněny a na jejich nadzemní části se hodnotil počet letorostů v přeslenových větvích a jejich délka. Dále byl sledován počet sekundárních letorostů, jejich věk, počet a umístění na větvích nebo kmenech. Součet letorostů za jednotlivé přesleny byl počítán jako součin počtu letorostů na přeslenu a jejich délky. Data byla statisticky vyhodnocena. Pro hodnocení rozdílu počtu letorostů mezi A a E variantou byl použit chi-kvadrát, kterému předcházela Yatesova korekce v případě, že počet letorostů vstupující do analýzy byl nižší než 5. Statisticky významné rozdíly byly zjišťovány neparametrickým M-U testem z důvodu nehomogenity rozptylu. Rozdíly byly hodnoceny na hladině 0,05 v program Statistica 7 (StatSoft Inc. Tulsa, USA).

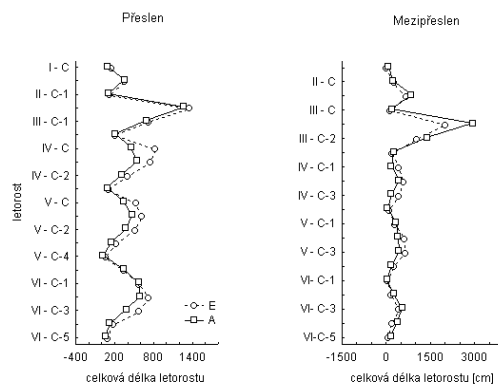
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Stromy rostoucí ve zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> měli významně vyšší počet letorostů primární struktury – tj. vyšší počet letorostů tvořících přeslenové větve ve srovnání se stromy rostoucí v běžné koncentraci, a to o 19 % (Chi-square =,  $p < 0.01$ ). Naopak u mezipřeslenů byl zaznamenán významný pokles počtu letorostů o 20 % (Graf 1). Průměrná délka letorostu byla naměřena překvapivě shodně u přeslenů i mezipřeslenů v obou variantách byla  $9,8 \pm 7,8$  cm (průměr ± směrodatná odchylka), v průměrné délce se tedy varianty nelišily.

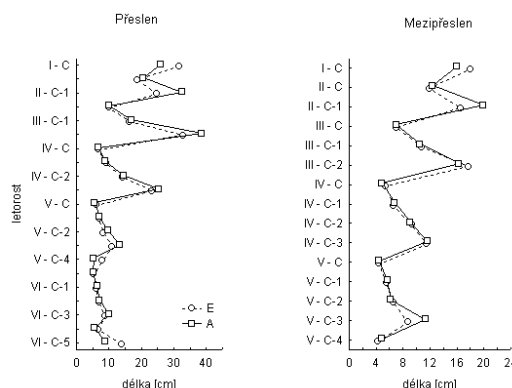
Celková délka letorostů byla ovšem výrazně vyšší u varianty E, což bylo dáno vyšším počtem letorostů (Graf 2). Získané výsledky jsou v souladu se závěry autorů /9/ a /1/, kteří rovněž nepotvrdili vliv zvýšeného CO<sub>2</sub> na prodlužovací růst větví, avšak stimulace zakládání pupenů vlivem CO<sub>2</sub> byla prokázána prací /3/. Přestože řada autorů popisuje tzv. "diminishing effect" - tedy oslabování vlivu CO<sub>2</sub> na růst rostlin /5/, nebyl útlum v počtu větví nebo jejich délce u 16 smrků během 6 let pozorován.

Odezva sekundární struktury na zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> byla jednoznačně pozitivní – počet sekundárních letorostů na větvích i kmenech byl vyšší ve zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> ve srovnání s běžnou koncentrací (Tab. 1). Statisticky významně vyšší byl celkový počet sekundárních letorostů na větvích (o 21 %,  $p < 0,01$ ), počet dvouletých sekundárních letorostů na větvích a na kmeni (více jak 50 %,  $p < 0,01$ ). Podle autora /2/ je stimulace větvení spojena s vyšší asimilací na úrovni ekosystému. Dlouhodobá kultivace smrku pod zvýšeným CO<sub>2</sub> totiž představuje nárůst absorpční plochy kořenů i jejich celkové biomasy /7/, což se

zpožděním projeví i v nárůstu plochy asimilačního aparátu, přičemž zvýšení počtu sekundárních letorostů představuje jednu z možností uložení uhlíkového sinku u stromů rostoucí ve zvýšené koncentraci  $\text{CO}_2$ .



Graf 1: Součet všech letorostů v přeslenových a mezipřeslenových větvích 16letých smrků ztepilých ve vertikálním profilu koruny rostoucí v běžné (A,  $370 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) a zvýšené (E,  $700 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) koncentraci  $\text{CO}_2$  po dobu 6 let. Římské číslice označují přeslen nebo mezipřeslen (počítáno od vrcholu koruny), c-letošní letorost, c-1 – rok starý letorost, c-2 – dva roky starý letorost.



Graf 2: Průměrná délka letorostů v přeslenových a mezipřeslenových větvích 16letých smrků ztepilých ve vertikálním profilu koruny rostoucí v běžné (A,  $370 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) a zvýšené (E,  $700 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) koncentraci  $\text{CO}_2$  po dobu 6 let. Římské číslice označují přeslen nebo mezipřeslen (počítáno od vrcholu koruny), c-letošní letorost, c-1 – rok starý letorost, c-2 – dva roky starý letorost.

Tab. 1: Sledované parametry sekundárních letorostů (SS) na 16letých jedincích smrku ztepilého rostoucí v běžné (A,  $370 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) a zvýšené (E,  $700 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) koncentraci  $\text{CO}_2$  po dobu 6 let. Symbol \*\* označuje statisticky velmi významné rozdíly  $p < 0,01$ .

| parametr                    | chi-kvadrát | p  | %, A=100 % |
|-----------------------------|-------------|----|------------|
| četnost větví se SS         | 20,5        | -  | 118        |
| počet 1letých SS na větvích | 27,1        | -  | 112        |
| počet 2letých SS na větvích | 56,5        | ** | 153        |
| počet SS na větvích         | 401,2       | ** | 121        |
| počet SS na kmeni           | 23,7        | -  | 107        |
| počet 1letých SS na kmeni   | 7,2         | -  | 102        |
| počet 2letých SS na kmeni   | 9,2         | ** | 156        |

## LITERATURA

- /1/ Barton, C. V. M. a kol.: Growth response of branches of *Picea sitchensis* to four years exposure to elevated atmospheric carbon dioxide concentration. *New Phytologist*, 144, 1999: 233-243.
- /2/ Conroy, J. P., Milham, P. J., Mazur, M., Barlow, E. W. R.: Growth, dry weight partitioning and wood properties of *Pinus radiata* after 2 years of CO<sub>2</sub> enrichment. *Plant, Cell and Environment*, 13, 1990: 329-337.
- /3/ Farnsworth, E. J., Ellison, A. M., Gong, W. K.: Elevated CO<sub>2</sub> alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oecologia*, 108, 1996: 599-609.
- /4/ Gruber, F.: Morphology of coniferous trees: possible effects of soil acidification on the morphology of Norway spruce and Silver fir. In: Godbold, D.L., Huttermann, A.(eds), *Effects of Acid Rain on Forest Processes*, J. Wiley-Liss, New York, pp. 265–324, 1994.
- /5/ Jach, M. E., Ceulemans, R.: Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on phenology, growth and crown structure of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedling after two years of exposure in the field. *Tree Physiology*, 19, 1999: 289-300.
- /6/ Nicolini, E., Chanson, B., Bonne, F.: Stem growth and epicormic branch formation in understorey beech trees (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Botany*, 87, 2001: 737–750.
- /7/ Pokorný, R., Tomášková, I., Marek, M. V.: The effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on Norway spruce needle parameters. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 2011, 2269–22.
- /8/ Pritchard, S. G. a kol.: Elevated CO<sub>2</sub> and plant structure: a review, *Global Change Biology*, 5, 1999: 807-837.
- /9/ Roberntz, P., Linder, S.: Effects of long-term CO<sub>2</sub> enrichment and nutrient availability in Norway spruce. I. Phenology and morphology of branches. *Trees*, 13, 1999: 188-198.
- /10/ Roloff, A., Roemer, H. P.: Interrelationships between crown and root system in beech (*Fagus sylvatica* L.) *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 160, 1989: 200-204.
- /11/ Urban, O. a kol.: Glass domes with adjustable windows. A novel technique for exposing juvenile forest stands to elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Photosynthetica*, 39, 2001: 395-401.
- /12/ Ward, J. K., Strain, B. R.: Elevated CO<sub>2</sub> studies: past, present and future. *Workshop on Critical Assessment of the Response of Forest Ecosystems to Elevated Atmospheric Carbon Dioxide*. Heron Publishing, Durham, North Carolina, 1997.
- /13/ Zimmerman, M., Brown, C.: *Trees, Structure and Function*. Springer Verlag. New York, 1971.

## Poděkování

Práce je součástí výzkumu podporovaného EK (projekt CzechGlobe CZ.1.05/1.1.00/02.0073). Experimentální pracoviště Bílý Kříž je součástí národní infrastruktury pro sledování uhlíku – CzeCOS/ICOS podporovaného MŠMT ČR (LM2010007). Práce vznikla rovněž s podporou grantu č. QH81160 (NAZV).

## **VLIV KLIMATU A POČASÍ NA CELISTVOST ROSTLINY A PRŮBĚH CHOROB**

### ***THE INFLUENCE OF THE CLIMATE AND THE WEATHER ON THE ENTIRETY OF PLANTS AND THE COURSE OF THE DISEASES***

Josef Hýsek, Radek Vavera, Jiří Hermuth

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně

#### ***Summary***

In our contribution there are summarized physiological functions which are necessary for the entirety of plants (photosynthesis, water and nutrients acception). They are compared also some characteristic of the plants and the animals. The defence of the plants against harmful microorganisms and the climate and the weather is described and the resistance and tolerance given by the genetics. They are defined all influences of outer environment on the plants (abiotic factors) and their entirety.

*Key words: the plants, physiological functions, the defence against the microorganisms, the entirety of the plants*

#### ***Souhrn***

V našem příspěvku jsou shrnuty fyziologické funkce rostlin, které jsou nezbytné pro celistvost rostliny (fotosyntéza, příjem živin a vody). Porovnány jsou i některé vlastnosti rostlin i živočichů. Je popsána obrana rostlin před škodlivými mikroorganismy a vliv počasí i klimatu na ni. Obrana rostlin je porovnávána s obranou u živočichů. U rostlin je popsána rezistence a tolerance k patogenním mikroorganismům daná geneticky. Jsou definovány veškeré vlivy zevního prostředí na rostliny (abiotické faktory) a na jejich celistvost.

*Klíčová slova: rostliny, fyziologické funkce, obrana proti mikroorganismům, celistvost rostliny*

## **ÚVOD**

Celistvost rostliny umožňuje plnit všechny její fyziologické funkce (fotosyntetickou asimilaci, dýchání, příjem živin a vody, přežití vysychání aj.). Rostliny jsou organismy poikilothermní, které mají stejnou teplotu jako prostředí, ovšem perenující rostliny musí udržet alespoň minimální příjem vody a živin i při vnějších teplotách pod nulou, proto musí mít i vnitřní teplotu nad nulou, což umožňuje jejich život. Uvedený problém nebyl dosud literárně zpracován. V tropech a subtropích uvedené rozdíly v teplotách nejsou tak velké. Transport živin a metabolitů je chráněn vnitřními a vnějšími bariérami rostlin. Je-li teplota extrémně nízká, dochází i u těchto rostlin ke zmrznutí (při jarních mrazech). Mnohé plodiny jsou adaptovány na široké rozmezí teplot a mohou se vyskytovat jak v mírném, tak v tropickém i subtropickém pásmu. Takovými rostlinami jsou obilniny (obecně trávy čeledi Poaceae). Rostliny dlouhého dne kvetou v létě, rostliny krátkého dne naopak při zkracování dne. Celistvost každé rostliny se nejlépe projevuje ve specifickém pásmu jejího pěstování. Protože je rostlina dlouhodobě přizpůsobena klimatu, je její růst v optimu. Přemístíme-li

rostlinu do nevhodného klimatického pásma, její schopnost asimilace bude nižší a její celistvost bude ohrožena zvláště odumíráním listů nebo kořenů a nevytvořením rozmnožovacích orgánů. Celý systém celistvosti se vbrzku zhroutí nebo rostlina zakrní. Jednotlivé orgány rostlin (kořen, cévy, květy, listy aj.) jsou napadány specifickými mikroorganismy.

Mikroorganismy působící systémově nejprve napadají specifický orgán, z kterého se dále šíří do rostlinného „těla“. Rostlina uhynie, má-li zničený kořen, na úhynu se podílí nejen původní specifický patogen, ale i různé saprofytické mikroorganismy. Vliv světla na rostliny je podmíněn sklonem zemské osy, jímž je dáno i střídání ročních období. Úhel, pod kterým dopadá sluneční paprsek na povrch Země je v rozmezí 0 – 180 stupňů. Zůstává-li odražený paprsek v atmosféře, dochází k tzv. skleníkovému efektu, který je ovlivněn i mírou exhalací v ovzduší. Některé houbové choroby rostlin vznikají ve specifických klimatických pásmech (houbové choroby rostlin tropů a subtropů). Jsou i univerzální mikroorganismy působící choroby rostlin ve všech klimatických pásmech jako jsou např. mikromycety *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Thielaviopsis basicola* a další. Tyto fytopatogeny mají širokou ekologickou valenci k teplotě a vlhkosti. Jiné fytopatogeny jsou mikroby, které mají úzkou ekologickou valenci k teplotě a vlhkosti a nejsou schopné žít mimo úzce vymezenou oblast (např. houbové fytopatogeny vinné révy). To je do značné míry dáno i jejich biotrofním způsobem života. Podnebí (klima) je dlouhodobý vývojový prvek, vzniklý po dlouhé době (staletí). Je to svým způsobem ustálený program, v jehož rámci jsou možné mezní odchylky od normálu, ale pouze v určitém daném teplotním, srážkovém a vlhkostním rozmezí. Na rozdíl od toho je počasí pojem velmi krátkodobý, nejvíce zaměřený na okamžik sledování nebo krátkodobou předpověď do čtrnácti dnů podle průzkumu meteorologických družic. Klima je charakteristické pro jednotlivá podnební pásma.

## MATERIÁL A METODA

Jsou popsány fyziologické funkce rostlin a živočichů na základě studia literárních prací mnoha autorů z oboru fyziologie rostlin, klimatologie, fytopatologie, imunologie a dalších disciplín. Kompletní literatura je u hlavního autora příspěvku.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Na celistvost rostlin má vliv jak klima, tak krátkodobě i počasí, zvláště jeho extrémní hodnoty. Rostliny mohou mít přirozenou rezistenci k chorobám a při infekci avirulentním patogenem nebo nepatogenem indukují řadu obran včetně syntézy fytoalexinů a zvýšení tvorby lytických enzymů jako chitináz a jiných antimikrobiálních proteinů. Taková obrana může být také indukována přímými nebo nepřímými produkty avirulentních genů stejně jako při indukci mikrobiálními elicitory a endogenními rostlinnými elicitory. Buňky hostitelské rostliny v místě infekce odumírají. Inhibitory, zajišťující vlastně i celistvost rostliny, působí na patogena a rovněž látky, které jsou v rostlině již před infekcí nebo které se syntetizují v reakci na infekci (indukované látky). Na povrch rostliny jsou uvedené látky vylučovány hydatodami nebo žlázkami a difundují zevnitřku rostliny. Kořeny náchylných rostlin stimulují svými exudáty rozvoj infekčních struktur, u kořenů rezistentních rostlin dochází k selektivnímu potlačení patogenů. O rezistenci rozhoduje počáteční rozpoznávací a detekční systém rostliny, který je též důležitý pro zachování celistvosti rostliny. Někdy jsou přítomny



specifické receptory pro patogenní mikroorganismy. Náchylné rostliny mají pravděpodobně zvláštní receptory i pro různé toxiny, produkovány patogenními mikroorganismy. Hlavní model obrany byl koncipován na bázi mikrobiálních elicitorů a produkce obranných fytoalexinů. To by samo o sobě bylo výhodné pro zachování integrity (celistvosti) rostliny. Ovšem na druhé straně rostliny nemají centralizovaný mechanismus rozpoznávání a eliminace patogenů jako živočichové (vliv centrální nervové soustavy, imunologický systém). Odezva rostliny na patogena je určována reakcemi buněk patogena a hostitele bezprostředně po jejich kontaktu. Doposud se nepodařilo nalézt reakce, které jsou pro vznik infekce a následné choroby určující a univerzální. Reakce rostlin na biotrofní patogeny (houby, bakterie, viry) jsou obvykle nekrotické neboli hypersenzitivní. Genetickou informaci pro rezistenci obsahují všechna pletiva. Projev genetické informace je podmíněn diferenciací pletiv, jejich stářím, ale i vnějšími podmínkami (klimatickými i vlivem krátkodobých změn počasí). Rostlina může během svého ontogenetického vývoje reagovat s různou citlivostí k umělé infekci patogenem. Jsou i choroby typické pro stáří a pro střední období života. Stáří rostliny je jednak obecný věk, každá část rostliny má však svůj fyziologický věk. Listy v horní části rostliny prodělávají jiné změny než listy na bázi (nemají stejný tvar a velikost). Spodní listy se tvořily v mládí rostliny, horní listy se vytvořily v kratší době oproti spodním listům. Z obecného pohledu jsou horní listy starší než spodní (vytvářejí se ve starším věku rostliny). Ontogeneze rostliny má fázi vzestupnou (vývoj rostliny) a sestupnou (tvorba plodů, senescence).

Reakce rostlin na přirozenou nebo umělou infekci rostlin není centrální. Je pouze lokální, i když celková (systémová) infekce vzniká většinou z lokalizované infekce. Výjimkou jsou celková napadení u některých houbových a virových nákaz (*Plasmopara halstedii*, virové zakrslosti). Celkově lze uzavřít, že celistvost rostliny je základní fenomén, který má vliv na reakci k chorobám, počasí i klimatu, k teplotě, vlhkosti a k dalším fyzikálním faktorům.

Zabýváme se mimo jiné i pěstováním čiroku a bérů v našem mírném pásmu. Z našich dosavadních pokusů vyplývá, že uvedené plodiny by i u nás mohly dosahovat dobrých výnosů, zvláště jejich některé odrůdy. Protože tyto plodiny jsou pěstovány v pro ně netypických podmínkách, mají poměrně málo patogenních mikroorganismů a škůdců. Výnos biomasy byl výrazně ovlivněn výškou porostu a jeho habitem, což koresponduje s druhovou vlastností. Rostliny čiroku byly robustnější a delší dobu si zachovávaly fotosyntetickou aktivitu listového aparátu, čímž se prodlužovala doba vegetace. Na základě dosažených výsledků můžeme konstatovat, že z hlediska tvorby biomasy je vhodnější čirok. Běry pak jsou vzhledem ke kratší vegetační době vhodnější do oblastí, kde je limitována vegetační doba. Propojením pěstování těchto dvou plodin by se dala vytvořit kontinuální plynulé dodávky kvalitní biomasy pro bioplynové stanice.

## LITERATURA

U autorů příspěvku.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MSM 6046070901.

## **HODNOTENIE KORUNY A KMEŇA SMREKA VO VZŤAHU K NÁLETU LYKOŽRÚTA SMREKOVÉHO (*IPS TYPOGRAPHUS*)**

### ***EVALUATION OF NORWAY SPRUCE CROWN AND TRUNK IN RELATION TO SPRUCE BARK BEETLE (*IPS TYPOGRAPHUS*)***

Rastislav Jakuš<sup>1</sup>, Pavel Cudlín<sup>2</sup>, Miroslav Blaženec<sup>1</sup>, Timotej Brenkus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav ekológie lesa, SAV, Štúrova 2, 960 53 Zvolen, Slovensko, jakus@savzv.sk

<sup>2</sup> Czech globe, AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, Česká republika, cudlin.p@czechglobe.cz

#### ***Summary***

The method for evaluation of spruce crown and trunk changes after bark beetle attack is presented. The method is based on separate evaluation of crown, trunk, signs of bark beetle attack and synthetic classification.

*Key words: Norway spruce, spruce bark beetle, Ips typographus, crown, trunk*

#### ***Souhrn***

V príspevku je prezentovaná metóda na hodnotenie zmien koruny a kmeňa smreku po nálete lykožrúta smrekového. Metóda je založená na samostatnom hodnotení stavu koruny, stavu kmeňa, znakov náletu podkôrneho hmyzu a výslednej syntetickej klasifikácii.

*Kľúčové slová: smrek, lykožrút smrekový, koruna, kmeň, identifikácia náletu.*

## **ÚVOD**

Z hľadiska praxe ochrany lesa, ochrany prírody a výskumu odumierania lesa metódami DPZ je dôležitá včasná identifikácia stromov napadnutých podkôrnym hmyzom a ich rýchla asanácia. Vzhľadom k premenlivosti priebehu odumierania stromu po nálete podkôrneho hmyzu, miesta náletu a identifikovateľnosti jednoznačných znakov náletu, môže byť včasná identifikácia naletených stromov problematická aj pre odborníka s niekoľkoročnou praxou vo vyhľadávaní aktívnych chrobačiarov. V praxi vyhľadávania a asanácie aktívnych chrobačiarov sa vyskytujú tri hlavné chyby:

a) Prvou, z hľadiska ochrany lesa najzávažnejšou chybou je ne-identifikácia aktívneho chrobačiara a jeho ponechanie bez asanácie. Takýto strom umožní ďalšie rozmnožovanie podkôrneho hmyzu a tým ďalšie odumieranie porastu.

b) Druhou je ťažba a asanácia stromov so zmenami vo farbe ihličia a prípadne s výskytom smolenia, na ktorých sa nevyskytuje podkôrny hmyz. Takáto ťažba je z hľadiska ochrany lesa kontraproduktívna. Takouto ťažbou sa okolité stromy náhle vystavia slnečnému žiareniu a zbytočne sa otvoria porasty. To urýchli rozpad porastov spojeným účinkom vetra a podkôrneho hmyzu. Ťažba takýchto stromov je aj ekonomicky nevýhodná. Takéto stromy sa môžu zregenerovať a rásť a produkovať ďalej drevo. Ťažba takýchto stromov zbytočne zvyšuje náklady na ochranu lesa.

c) Tretou chybou je neskorá ťažba napadnutých stromov. Ťažba stromu, ktorý už opustil podkôrny hmyz je z hľadiska ochrany lesa skôr kontraproduktívna, podobne ako v predchádzajúcom prípade. V určitých prípadoch môže takáto ťažba poškodiť bioregulačný komplex podkôrneho hmyzu. V tomto prípade je však kľúčové ekonomické hľadisko. V prípade, že sa takýto strom z lesa neodstráni, postupne klesá jeho ekonomická hodnota.

Existujúce stupnice vizuálneho hodnotenia smreka /1,2/ sú zamerané na hodnotenie jeho zdravotného stavu a sú použiteľné aj na hodnotenie stromu odumierajúceho po nálete podkôrneho hmyzu. Tieto stupnice však nezohľadňujú špecifické zmeny na korune a kmeni stromu po nálete podkôrneho hmyzu a ani ich nie je možné funkčne použiť pri vykonávaní opatrení v praktickej ochrane lesa proti podkôrnemu hmyzu. Na druhej strane „Kľúč na výber stromov na sanitárnu ťažbu /3/ je pomerne hrubý a nie je vhodný na presné hodnotenie stavu smreka pre vedecké účely.

Cieľom tohto príspevku je návrh novej stupnice na hodnotenie koruny a kmeňa smreka vo vzťahu k náletu lykožrúta smrekového (*Ips typographus*) a s ním asociovaných druhov podkôrneho hmyzu.

## MATERIÁL A METODA

Pokus a) Vyhľadávanie aktívnych chrobačiarov:

Pri vyhľadávaní aktívnych chrobačiarov je potrebné zamerať sa na ich miesta potenciálneho výskytu:

- porastové steny, ktoré vznikli po minuloročnej ťažbe stromov napadnutých podkôrnym hmyzom.
- okolie suchárov,
- v porastoch so zníženým zápojom, miesta v blízkosti minuloročnej náhodnej ťažby,
- porastové steny, ktoré vznikli po poškodení porastov vetrom, zvlášť slnku vystavené časti porastových stien,
- okolie feromónových lapačov a lapákov,
- miesta kde boli v predchádzajúcom roku použité feromónové lapače.

Čerstvo napadnuté stromy postupne strácajú sytú zelenú farbu ihličia a zhadzujú zelené ihličie, ktoré sa hromadí na povrchu pôdy okolo stromu. Na základe týchto znakov je možné nájsť aktívne chrobačiare aj z väčšej vzdialenosti. Podmienky pre identifikáciu napadnutých stromov sú najlepšie pri jarom, hromadnom rojení (máj, začiatok júla). Pri letnom, rozptýlenom rojení (jún, začiatok augusta), je identifikácia napadnutých stromov náročnejšia.

Príznaky čerstvo napadnutých stromov sú:

- jediným, úplne spoľahlivým znakom sú hnedé piliny, ktoré vyhadzujú lykožrúti pri hĺbení chodbičiek. Tieto piliny sa hromadia za šupinami kôry, na pavučinách, na koreňových nábehoch a na zemi okolo päty stromu. Piliny sú zo závrtovej vyhadzované počas 2 až 3 týždňov. Piliny sú počas silnejších dažďov zmývané. Preto je potrebné, aby boli k identifikácii využité obdobia sucha.

b) Vlastné hodnotenie:

Pri vlastnom hodnotení sa strom posudzuje pomocou Tabuľky 1. Korunu je potrebné posudzovať z väčšej vzdialenosti od stromu (aspoň 5 m) a znaky náletu z tesnej blízkosti kmeňa. Koruna, kmeň a viditeľné znaky náletu sa posudzujú samostatne (Tabuľka 1). Pre

výslednú klasifikáciu je rozhodujúci prítomnosť najpokročilejšieho znaku vo vyznačenej zóne (odtiene šedej).

Tab. 1: Stupnica hodnotenie zmien koruny a kmeňa smrekú po nálete lykožrúta smrekového

| Koruna   |                                                                                                                                                     | Kmeň     |                                                                                 | Viditeľné znaky náletu |                                                                                                                    | Klasifikácia |                                                                                                            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>0</b> | Bez zmien farby a štruktúry                                                                                                                         | <b>0</b> | Bez znakov náletu na kmeni                                                      | <b>0</b>               | Bez náletu                                                                                                         | <b>0</b>     | Bez náletu                                                                                                 |
| <b>1</b> | Prvé zmeny farby ihlič                                                                                                                              | <b>1</b> | Smolenie bez jednoznačných znakov náletu                                        | <b>1</b>               | Sporný                                                                                                             | <b>1</b>     | Sporný                                                                                                     |
| <b>2</b> | <u>Blednutie + opad:</u><br>- dochádza k blednutiu a opadu ihličia<br>- nedochádza k žltnutiu ani hnednutiu                                         | <b>2</b> | <u>Odlúpnuté šupinky:</u><br>- v hornej časti kmeňa sú vidieť odlúpnuté šupinky | <b>2</b>               | <u>Neúspešný nálet:</u><br>- zaliate čerstvé závrtý                                                                | <b>2</b>     | <u>Hranica jednoznačného náletu:</u><br>- Istota 100% asanácie                                             |
| <b>3</b> | <u>Žltnutie + opad:</u><br>- prejavuje sa žltnutie alebo hnednutie celej alebo časti koruny (pri postupnom 2 ročnom nálete)<br>- defoliácia do 75 % | <b>3</b> | <u>Odlúpnutá kôra:</u><br>- v hornej časti kmeňa sú vidieť odlúpnuté časti kôry | <b>3</b>               | <u>Čerstvý nálet:</u><br>- čerstvé závrtý, svetlé piliny (vrátane pilín na pate kmeňa)                             | <b>3</b>     | <u>Efektívna zóna:</u><br>- možnosť 100 % asanácie                                                         |
| <b>4</b> | <u>Hnednutie + výrazný opad:</u><br>- výrazné žltnutie alebo hnednutie koruny<br>- môžu sa vyskytovať aj zelené ihličie<br>- defoliácia 50-90 %     | <b>4</b> | <u>Odlúpnuté pásy kôry:</u><br>- hlavne v strednej a hornej časti koruny        | <b>4</b>               | <u>Starý nálet:</u><br>- sú viditeľné závrtové otvory (nie výletové) bez prítomnosti pilín, ojedinele tmavé piliny | <b>4</b>     | <u>Hranica asanácie s vplyvom na lykožrúta:</u><br>- asanácia má minimálny alebo žiadny vplyv na lykožrúta |
| <b>5</b> | <u>Bez ihličia:</u><br>- defoliácia 95-100 %<br>- väčšina ihlič je hnedá                                                                            | <b>5</b> | Väčšina kmeňa je bez kôry                                                       | <b>5</b>               | Prítomnosť výletových otvorov na kôre alebo opadaná kôra                                                           | <b>5</b>     | asanácia bez vplyvu na lykožrúta                                                                           |
| <b>6</b> | Sterilný suchý strom                                                                                                                                | <b>6</b> | Sterilný suchý strom                                                            | <b>6</b>               | Sterilný suchý strom                                                                                               |              |                                                                                                            |

Farebné zóny (odtiene šedej) slúžia na výslednú „klasifikáciu“ hodnoteného stromu.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Navrhovaná metodika bola súbežne vyvíjaná a testovaná v lokalite Smrčina (NP Šumava) a na LHC Michalová (Slovenské Rudohorie). Počas pilotného hodnotenia stromov

v NP Šumava (roky 2011, 2009, 2010) sme používali viac stupníc, ktoré opisovali nálet v štádiách zvlášť pre nálet na jar, v lete a na jeseň, vrátane postupného náletu počas 2 rokov. Pri pilotných hodnoteniach v LHC Michalová (rok 2012) sme zistili, že štádia odumierania stromu nie je možné používať. Zmeny na korune sa vyvíjali nezávisle na zmenách kmeňa. V roku 2012 sme vytvorili aktuálnu verziu stupnice (Tabuľka 1), v ktorej sa nezávisle posudzuje stav koruny, kmeňa a viditeľné znaky náletu. Na základe týchto prvotných stupníc sa strom klasifikuje vo vzťahu k náletu lykožrúta smrekového. Posledná verzia stupnice by mala byť použiteľná vo všetkých podmienkach výskytu smreka. Možnosti jej praktického použitia je však treba ďalej testovať.

#### **LITERATURA**

- /1/ UN-ECE: Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, 4th edn. UN/ECE, Hamburg, Geneva, 1998
- /2/ Polák, T., Cudlín, P., Moravec, I.: Macroscopic indicators for the retrospective assessment of Norway spruce crown response to stress in the Krkonoše Mountains. *Trees*, 21, 2007: 23–35
- /3/ Jakuš, R., Čaboun, V., Kukla, J., Kulla, L., Blaženec, M.: Hromadné odumieranie nepôvodných smrečín severného Slovenska [online]. Zvolen: Ústav ekológie lesa SAV, 2008. (E-ekológia lesa, odborné ekologické publikácie; 3). <http://www.savzv.sk>. ISSN 1337-7655. ISBN 978-80-969525-8-8.

#### **Podakovanie**

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Prognosticko-informačné systémy pre zvýšenie efektívnosti manažmentu, ITMS: 26220220109, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## **KOŘENOVÝ SYSTÉM JAKO FAKTOR TVORBY VÝNOSU A KVALITY POLNÍCH PLODIN**

### ***INFLUENCE YIELD AND QUALITY OF FIELD CROPS PRODUCTION – INFLUENCED OF ROOT SYSTEM PARAMETERS***

Tomáš Středa, Martin Hajzler, Oldřich Chloupek

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Zemědělská 1, 613 00 Brno, streda@mendelu.cz

#### ***Summary***

Root system size (RSS) can be used as selection criterion for a drought tolerance. The electric capacitance can be therefore recommended as a quick and cheap method, which enables repeated evaluation during vegetation and retain the evaluated plants till harvest. In the dry year 2007 was the RSS significantly correlated with grain yield ( $r^2 = 0.285^*$ ). In 2008 was found a negative correlation ( $r = -0.459^*$ ) in locations in the lowest altitude and with the highest temperature. In 2009 was the correlation again positive and significant ( $r^2 = 0.391^{**}$ ). In the moist year 2010 was not found any significant correlation in any variant. Barley plants with greater RSS in pot experiment had higher weight of above-ground biomass ( $r = 0.564$  in 2010 and  $0.756^*$  in 2011).

*Key words: root system, drought, yield, quality*

#### ***Souhrn***

Pro redukci vlivů sucha je možné použít selekci odrůd na větší kořenový systém. Zemědělský výzkum a šlechtění preferuje metody aplikovatelné v polních podmínkách. Progresivní variantou *in situ* metody je měření velikosti kořenového systému prostřednictvím jeho elektrické kapacity. Konfrontací referenční soil-core metody s metodou měření elektrické kapacity kořenového byla zjištěna dobrá shoda výsledků. Metodu měření elektrické kapacity je možné doporučit jako rychlou a levnou metodu stanovení meziodrůdových diferencí velikosti kořenového systému. V suchém roce 2007 byla velikost kořenového systému pšenice průkazně korelována s výnosem odrůd ( $r^2 = 0.285^*$ ) a s výnosem škrobu ( $r^2 = 0.248^*$ ). V roce 2008 byla negativní korelace ( $r = -0.459^*$ ) mezi velikostí kořenového systému a výnosem zrna pšenice na lokalitách s nejnižší nadmořskou výškou a s nejvyšší teplotou. V roce 2007 odrůdy ječmene s větším kořenovým systémem poskytl průkazně vyšší výnos zrna. Sladovnické odrůdy s větším kořenovým systémem měly průkazně vyšší obsah škrobu, vyšší obsah sladového extraktu a nižší obsah dusíku. V nádobovém pokusu měly rostliny ječmene s větším kořenovým systémem vyšší hmotnost sušiny nadzemní biomasy ( $r = 0,564$  v 2010;  $r = 0,756^*$  v 2011).

*Klíčová slova: kořenový systém, sucho, výnos, kvalita*

## **ÚVOD**

*Motto: „úspěch není vždy jen to, co vidíte“.*

V souvislosti s negativními vlivy sucha na výnos a kvalitu produkce je jako sekundární selekční kritérium v posledních letech zmiňována velikost kořenového systému. Hodnotí a selektují se odrůdy jako potenciální rodiče (i nové linie) a vybrané se rekombinují pro získání štěpící populace a výběr rostlin s heterózou v tomto znaku. Větší kořenový systém je faktorem tolerance k suchu, protože během suchých období může zajišťovat dostupnost vody z hlubších vrstev půdy, pokud se tam vyskytuje. Současně ovšem není větší velikost kořenového systému výhodou ve všech případech - pokud sucho nenastane, je zbytečnou investicí rostliny na úkor jiné translokace produktů fotosyntézy. Větší kořenový systém umožňuje lepší využití živin a tudíž menší kontaminaci prostředí nevyužitými živinami, hlavně dusíkem a fosforem. Odrůdy pšenice i ječmene s větší velikostí kořenového systému poskytly vyšší výnos a obsahovaly více asimilátů /1, 4/. Je tedy pravděpodobné, že selekce na větší velikost kořenového systému by mohla v nehumidním prostředí ročníků a lokalit zvýšit výnos extraktu a škrobu a byla by tedy vhodná např. pro šlechtění na produkci bioethanolu. K záměrnému šlechtění je třeba obecně dobře identifikovat vhodné genotypy nebo i jednotlivé rostliny. Pomocí roubování bylo prokázáno, že toleranci k suchu řídí geny lokalizované v kořenech a ne v nadzemní části /7/. /6/ identifikovali u planého ječmene na chromozomu 3H blízko genu *sdw1* gen *Hsd4*, který je spoluodpovědný za toleranci k suchu. Z QTL (quantitative trait loci, lokusy kvantitativních znaků) mapy populace jarního ječmene (Derkado x B83-12/21/5), publikované /2/ je např. patrné, že pro větší kořenový systém za celou vegetaci (TotalRSS +) je markérem gen *polozakrslosti sdw1*.

## MATERIÁL A METODA

### *Polní pokus s pšenicí a ječmenem*

Velikost kořenového systému (VKS) odrůd pšenice ozimé a ječmene jarního byla v letech 2007 – 2010 hodnocena metodou měření elektrické kapacity /5/ na dvou pokusných lokalitách – Želešice a Hrubčice, v růstových fázích BBCH 30 – 33 (sloupkování), BBCH 55 – 59 (metání) a BBCH 71 – 75 (mléčná zralost). Výsledky byly korelovány s výnosem a kvalitou zrna z pokusů na nejbližší stanici ÚKZÚZ (pro Želešice: Brno – Chrlice, pro Hrubčice: Hrubčice nebo Věrovany) nebo při zobecnění výstupů porovnáním s celostátním průměrem na stanicích ÚKZÚZ. V průběhu celé vegetace byla na pokusných plochách monitorována vlhkost půdy elektromagnetickými TDT senzory VIRRIB s dataloggerem.

Kořenový systém ječmene jarního byl realizován také jako nádobový v kontejnerech o objemu 0,25 m<sup>3</sup>. Paralelně s měřením VKS pomocí jeho elektrické kapacity byly odebrány vzorky „soil core“ metodou s následnou digitální analýzou obrazu /5/. Během dvouletého nádobového pokusu (2010 a 2011) byly rostliny ječmene jarního pěstovány v plastových nádobách o objemu 0,26 m<sup>3</sup> (rozměry D × Š × V: 790 × 598 × 556 mm). V nádobách byly simulovány čtyři odlišné vláhové podmínky (nestresovaná varianta na úrovni přesahující 65 % využitelné vodní kapacity půdy, mírně stresovaná varianta na úrovni okolo 65 % využitelné vodní kapacity půdy, stresovaná varianta na úrovni bodu vadnutí půdy a varianta s přirozeným úhrnem srážek) ve dvou opakováních. Vlhkost v nádobách byla kontinuálně monitorována čidly VIRRIB. V průběhu vegetace byla zjišťována velikost kořenového systému (VKS) metodou měření jeho elektrické kapacity od fáze sloupkování (BBCH 30) v týdenních intervalech. Na konci vegetace byla VKS a některé morfologické parametry kořenového systému vyhodnocena metodou digitální analýzy obrazu. Vzorky půdy a kořenů

byly odbírány soil-core metodou. Analyzované kořeny byly vysušeny a zváženy (zjištěna hmotnost kořenového systému - HKS). Bylo spočítáno celkové prokořenění - RLD ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); RSD (root surface density,  $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) a specifická délka kořenů – SRL (specific root length,  $\text{cm} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Při odběru vzorků pro analýzu soil-core metodou byl zjištěn počet odnoží jednotlivých rostlin a odebrána nadzemní biomasa (NB). Po vysušení byla zaznamenána hmotnost sušiny biomasy.

V případě, že byla zjištěna negativní korelace, byl vztah vždy vyjádřen jako korelační koeficient ( $r$ ) s rozsahem od -1 do 0. V případě pozitivního vztahu mezi velikostí kořenového systému a hodnoceného znaku byl vztah vyjádřen buď jako korelační koeficient ( $r$ ) nebo jako index determinace ( $r^2$ ) s rozpětím od 0 do +1. Statisticky průkazný vliv (hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ ) je symbolizován jednou hvězdičkou (\*). Statisticky vysoce průkazný vliv (hladina významnosti  $\alpha = 0,01$ ) je symbolizován dvěma hvězdičkami (\*\*).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Vegetační období v pokusném roce 2006/2007 lze charakterizovat jako vláhově značně podnormální. Vliv utváření kořenového systému se tak mohl intenzivně projevit. Velikost kořenového systému pšenice ozimé byla průkazně korelována s výnosem odrůd ( $r^2 = 0.285^*$ ) a s výnosem škrobu ( $r^2 = 0.248^*$ ) na všech stanicích ÚKZÚZ. VKS ve fázi metání na lokalitě Želešice byla statisticky vysoce průkazně korelována s výnosem na nejbližší pokusné stanici ÚKZÚZ (Tab. 1).

Tab. 1: Vztah mezi VKS v Želešicích 2007 a výnosem zrna na nejbližší stanici ÚKZÚZ

|                      | Sloupkování | Metání  | Mléčná zralost |
|----------------------|-------------|---------|----------------|
| VKS × výnos Želešice | 0,269       | 0,666** | 0,405          |

První část vegetačního období 2007/2008 lze na pokusných lokalitách charakterizovat jako vláhově příznivou pro růst a vývoj rostlin. K poklesu vlhkosti půdy pod bod snížené dostupnosti a stresu suchem došlo od první dekády června, tj. přibližně v době počátku mléčné zralosti. Zjištěna byla negativní korelace ( $r = -0.459^*$ ) mezi velikostí kořenového systému a výnosem zrna na třech stanicích s nejnižší nadmořskou výškou a s nejvyšší teplotou (Tab. 2).

Tab. 2: Vztah mezi VKS a výnosem zrna na některých stanicích ÚKZÚZ v roce 2008

|             | Sloupkování | Metání | Mléčná zralost |
|-------------|-------------|--------|----------------|
| VKS × výnos | -0,450*     | -0,142 | -0,304         |

V pokusném roce 2008/2009 byl zjištěn výrazný vliv lokality a odrůdy na VKS. V průběhu vegetace se neprojevily výrazné meteorologické extrémy, včetně nedostatku srážek. Pouze v Hrubčicích byla snížená vlhkost půdy ve svrchních vrstvách ornice. V hlubších vrstvách 40 cm vláhový deficit nenastal. Velikost kořenového systému a výnos zrna byla statisticky průkazně korelována ( $r^2 = 0.391^{**}$ ) na pěti stanicích s výskytem sucha.

Vegetační období v pokusném roce 2009/2010 bylo abnormálně vlhké. K dosažení stresových hodnot vlhkosti půdy došlo pouze na lokalitě Hrubčice od třetí dekády června v době nalévání zrna. Nebyl zjištěn průkazný vztah mezi VKS a výnosem v žádné variantě. V



Hrubčicích byla v roce 2010 průkazně negativně korelována VKS s objemovou hmotností zrna ( $r = -0,481^*$ ), tj. odrůdy s větším kořenovým systémem měly menší objemovou hmotnost zrna. V Želešicích byl zjištěn průkazný kladný vztah mezi průměrnou VKS a obsahem N-látek v zrna ( $r = 0,449^*$ ).

Velikost VKS ječmene jarního byla hodnocena na dvou lokalitách – v Hrubčicích a Želešicích v letech 2007 – 2010. Bylo hodnoceno 20 odrůd v roce 2007, 22 odrůd v letech 2008 a 2009 a 19 odrůd v roce 2010. Všechny sledované odrůdy byly zařazeny ve zkouškách pro Seznam doporučených odrůd stanic ÚKZÚZ v České republice. Porovnávána byla VKS z obou lokalit, zjištěná ve třech termínech hodnocení (sloupkování, metání a mléčná zralost) s kvalitou zrna od Výzkumného ústavu pivovarského a sladařského, vždy ze čtyř stanic ÚKZÚZ. Především ve výrazně suchém roku 2007 odrůdy s větším kořenovým systémem poskytl průkazně vyšší výnos zrna. Sladovnické odrůdy s větším kořenovým systémem měly průkazně vyšší obsah škrobu, sladového extraktu a vyšší výnos bílkovin. Je tak možno říci, že menší kořenový systém odrůd ječmene může v suchých letech způsobovat menší výnos zrna a nižší sladovnickou kvalitu (Tab. 3). Výsledky byly konfrontovány s výnosy zrna z nejbližší lokality ÚKZÚZ.

Tab. 3: Korelace VKS s kvalitou zrna pšenice v roce 2010

|                   | Hrubčice – nejbližší stanice ÚKZÚZ | Želešice – nejbližší stanice ÚKZÚZ | Průměr 17 lokalit ÚKZÚZ |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| N-látky           | 0,319                              | 0,449*                             | 0,172                   |
| Číslo poklesu     | 0,189                              | 0,179                              | 0,235                   |
| Objemová hmotnost | -0,481*                            | 0,364                              | -0,152                  |
| Obsah škrobu      | -0,299                             | -0,409                             | -0,198                  |

V pokusném roce 2007/2008 (tj. hlavní vegetační období 2008) nebyly zjištěny výrazné rozdíly v hodnotách průměrného výnosu zrna. Také korelační koeficienty mezi VKS a výnosem zrna byly nízké a statisticky nevýznamné.

V pokusném roce 2008/2009 nebyl zjištěn vliv VKS na výnos zrna na jednotlivých lokalitách ani napříč lokalitami. U některých kvalitativních znaků sladovnické kvality byla zjištěna průkazná a vysoce průkazná závislost s VKS. Průkazně korelován byl obsah bílkovin s VKS v mléčné zralosti ( $r = 0,456^*$ ) a s průměrnou VKS za tři měření ( $r = 0,458^*$ ). Negativně byl korelován vztah VKS s obsahem škrobu v zrna ( $r = -0,526^{**}$  v mléčné zralosti a u průměrné hodnoty VKS  $r = -0,475^*$ ).

V pokusném roce 2009/2010 (vegetace 2010) se na vegetaci a utváření kořenového systému pravděpodobně projevil výrazný vliv průběhu počasí. Korelační koeficient  $r = 0,624^{**}$  mezi VKS ve sloupkování a výnosem zrna v Hrubčicích determinuje vysoce průkazný vztah. VKS proto měla zásadní vliv na tvorbu výnosu především na začátku vegetace. V Želešicích odrůdy s největší VKS dosáhly průměrného výnosu 7,42 t, což je rozdíl 0,40 t v porovnání s odrůdami s nejmenší VKS. I přes tohle zjištění nebyla zjištěna průkazná korelace mezi VKS a výnosem ve sledovaných fázích růstu. V roce 2010 nebyla zjištěna průkazná souvislost VKS s kvalitativními znaky ječmene jarního. Některé korelační koeficienty měly vyšší, přesto neprůkaznou hodnotu (VKS ve sloupkování a obsah extraktu v sušině sladu  $r = -0,439$ ; VKS a podíl zrna nad 2,5 mm  $r = 0,430$ ).

Hodnoty root length density (RLD) ječmene v  $\text{cm.cm}^{-3}$  zjištěné metodou digitální analýzy obrazu u rostlin z lokality Hrubčice vykazovaly v roce 2010 průkaznou zápornou korelaci ( $r = -0,88^*$ ) s výnosy jednotlivých odrůd. Tyto výsledky potvrzují i pokusy s pšenicí, kdy rozsáhlý kořenový systém rostlin pěstovaných na stanovišti s optimálními vláhovými podmínkami a vysokým obsahem živin snižoval výnos zrna [3]. Vztah mezi RLD a výnosem zrna v Želešicích statisticky průkazný nebyl. Příklad ročníkových diferencí utváření biomasy kořenového systému v závislosti na vláhových podmínkách (rok 2010 vlhký, rok 2011 suchý) uvádí Tab. 4. Ve vlhkém roce byla plocha a délka kořenů přibližně poloviční.

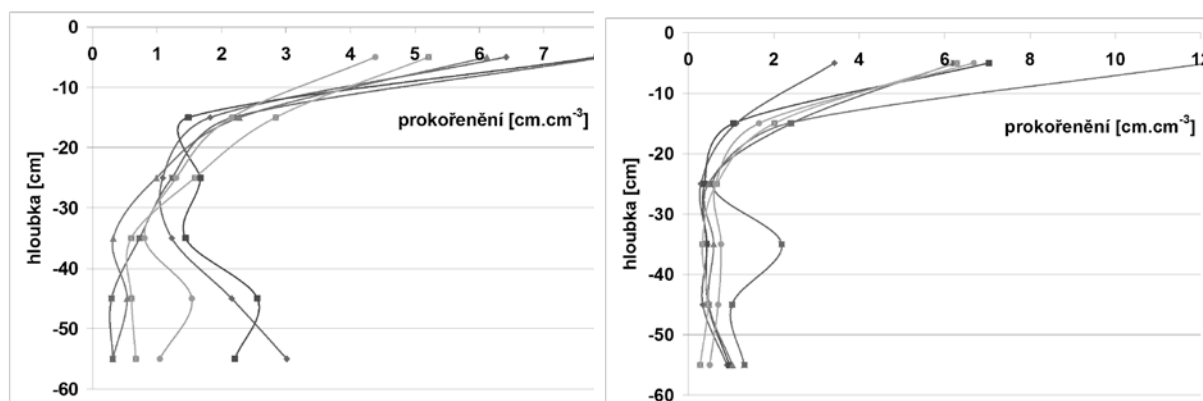
Tab. 5: Délka a plocha kořenů, Hrubčice, odrůda Radegast

| Hloubka (cm) | 2010       |                          | 2011       |                          |
|--------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
|              | Délka (cm) | Plocha ( $\text{cm}^2$ ) | Délka (cm) | Plocha ( $\text{cm}^2$ ) |
| 0-10         | 1366,6     | 39,7                     | 2516,2     | 62,9                     |
| 10-20        | 671,7      | 13,8                     | 1414,7     | 40,5                     |
| 20-30        | 404,0      | 8,7                      | 762,5      | 24,4                     |
| 30-40        | 251,4      | 7,3                      | 424,4      | 13,9                     |
| 40-50        | 479,3      | 10,8                     | 700,1      | 22,5                     |
| 50-60        | 324,7      | 7,9                      | 581,6      | 18,7                     |
| průměr       | 582,9      | 14,7                     | 1066,6     | 30,5                     |

Metodou soil core, respektive následnou digitální analýzou obrazu zjištěná intenzita prokořenění (RLD)  $3,4 - 12 \text{ cm.cm}^{-3}$  v Želešicích a  $4,3 - 8 \text{ cm.cm}^{-3}$  v Hrubčicích ve vrstvě 0 – 10 cm odpovídá obecným hodnotám pro obilniny  $5 - 10 \text{ cm.cm}^{-3}$ . Průměrná hustota prokořenění v hloubce 0 – 20 cm činila v tomto roce (2010) 66 % z celkové RLD na lokalitě Hrubčice a 76 % v Želešicích. Na této lokalitě byla nejméně prokořeněna vrstva 20 – 30 cm (4,6 %), kdežto v Hrubčicích se nacházelo nejméně kořenů ve vrstvě 30 – 40 cm (6,2 %). V hlubších vrstvách (40 – 50 a 50 – 60 cm) byly na obou lokalitách překvapivě u většiny odrůd zaznamenány vyšší hodnoty RLD. V Hrubčicích se v hloubce 40 – 60 cm nacházelo 17,8 % všech kořenů, v Želešicích se v této hloubce nacházelo 12,7 % kořenů. Zmenšení intenzity prokořenění ve středních vrstvách může být způsobeno například vlivem přechodu půdních horizontů, který se v Hrubčicích nachází v hloubce 40 cm a v Želešicích v hloubce 28 cm, nebo hloubkou kypření půdy na pokusných parcelách, kde by tato situace popisovala rozhraní mezi orniční a podorniční vrstvou půdy. Větší množství kořenů ve větších hloubkách může naznačovat lepší schopnost rostliny zabezpečit si přísun vody i při stresu suchem. Informace o diferencích intenzity prokořenění kořenového systému u šesti vybraných odrůd v hloubce 0 – 60 cm na lokalitách Hrubčice a Želešice uvádí Obr. 1.

Cílem nádobového pokusu s ječmenem jarním byla kvantifikace meziodrůdových rozdílů utváření kořenového systému, hodnocení vlivu parametrů kořenového systému na výnos a kvalitu produkce v různých prostředích (různé ročníky, odlišná půda, vláhový deficit...), porovnání výstupů dvou metod měření velikosti kořenového systému (VKS), jejich rutinní zvládnutí a posouzení pozitiv a negativ pro případné využívání k hodnocení VKS v budoucnu. Z pohledu vlivu kořenového systému na tvorbu nadzemní biomasy v různých podmínkách jsou zajímavé statisticky vysoce průkazné ( $\alpha = 0,01$ ) korelace mezi elektrickou kapacitou kořenů a hmotností nadzemní biomasy ( $r = 0,924^{**}$ ) a délkou kořenů a hmotností nadzemní biomasy ( $0,726^{**}$ ), hodnocenými napříč pokusnými faktory. Statisticky průkazný

vztah ( $r = 0,977^{**}$ ) kapacity kořenů a hmotností nadzemní biomasy byl zjištěn také při samostatném ověřování vlivu prostředí (vláhový deficit). Napříč pokusnými faktory byl dále průkazný vztah mezi kapacitou a délkou kořenů a kapacitou a plochou kořenů.



Obr. 1: Intenzita prokořenění (RLD) v  $\text{cm.cm}^{-3}$  vybraných odrůd na lokalitě Hrubčice (vlevo) a Želešice (vpravo) v roce 2010 v hloubce 0 – 60 cm během voskové zralosti

## LITERATURA

- /1/ Chloupek, O., Dostál, V., Středa, T., Psota, V., Dvořáčková, O.: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*, 129, 6, 2010: 630 – 636.
- /2/ Chloupek, O., Forster, B. P., Thomas, W. T. B.: The effect of semidwarf genes on root system size in field-grown barley. *Theor. Appl. Genet.*, 112, 2006: 779 – 786.
- /3/ Manske, G. B., Vlek, P. L. G.: Root Architecture – Wheat as a Model Plant. In: Waisel Y., Eshel A., Kafkafi U. (eds.), *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, 2002, s. 249 – 260.
- /4/ Středa, T., Dostál, V., Horáková, V., Chloupek, O.: Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management*, 104, 2, 2012: 203 – 209.
- /5/ Středa, T., Dostál, V., Chloupek, O., Bodner, G.: Šlechtění a výběr odrůd obilnin s větší tolerancí k suchu. *Úroda*, LVII, 5, 2009: 10 – 12.
- /6/ Suprunova, T., Krugman, T., Distelfeld, A., Fahima, T., Nevo, E., Korol, A.: Identification of a novel gene (Hsd4) involved in water-stress tolerance in wild barley. *Plant Mol. Biol.*, 64, 2007: 17 – 34.
- /7/ White, J. W., Castillo, J. A.: Relative effect of root and shoot genotypes on yield of common bean under drought stress. *Crop Science*, 29, 1989: 360 – 362.

## Poděkování

Práce vznikla s podporou projektu NAZV QI111C080 „Zpřesnění dostupné zásoby vody v půdním profilu na základě modelu kořenového systému plodin pro efektivní hospodaření s vodou a dusíkem“.

## JAK INTERPRETOVAT POMĚR „ROOT /SHOOT“ V PRAXI

### HOW INTERPRET THE „ROOT /SHOOT“ RATIO IN THE PRACTICE

Božena Šerá

Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR, Na Sádkách 7, České Budějovice

#### Summary

Ratio between weight of underground and aboveground body plant biomass is called as R:S. It can not be confused with R:S ratio computed from other data (length, nutrient content). It is one of the most important characteristics of production biology but of agriculture and forest too. R:S ratio is genetically given by species. It changes during the ontogenetical development of the plant and according to relations with variability of an environmental space and stresses. This text describes the R:S variability and the interpretation of computed values.

*Key words: change, development, production, R:S, stress, variability, weight*

#### Souhrn

Poměr mezi hmotnostmi podzemní a nadzemní biomasy rostlinného těla je označován jako R:S. Nelze jej zaměňovat s poměrem R:S spočteným z jiných údajů (délka, obsah živin). Je jednou z nejvýznamnějších charakteristik nejen v produkční biologii, ale i v zemědělství a lesnictví. Poměr R:S je druhově geneticky předurčen. Mění se během ontogenetického vývoje rostliny a také v závislostech na změnách životního prostředí a na stresech. Text se věnuje popsání variability poměru R:S a interpretace těchto hodnot.

*Klíčová slova: hmotnost, produkce, R:S, stres, variabilita, vývoj, změna*

## ÚVOD

Poměr podzemní biomasy rostlin vztažený k nadzemní biomase je označován jako „root/shoot ratio“ a bývá značen R:S podle počátečních písmen z anglického označení. V ekologickém kontextu se tento poměr nejčastěji vztahuje k hmotnosti sušiny, objemu, nebo k uložené energii (primární a sekundární produkce). Investice do kořenového systému vzhledem k nadzemní části rostlinného těla však může být vztažena i k délce nadzemních a podzemních orgánů, hmotnosti jejich živých pletiv, nebo množství obsaženého dusíku, uhlíku, sacharidů ap.

V zemědělské a lesnické praxi je tento poměr poměrně sledovanou veličinou. Je svázán s cílenými vlastnostmi kulturních rostlin jako je hromadění živin (polysacharidy, proteiny, lipidy) do zásobních orgánů, suchovzdornost nebo schopnost efektivního využití vody.

## RŮST ROSTLINNÉHO TĚLA

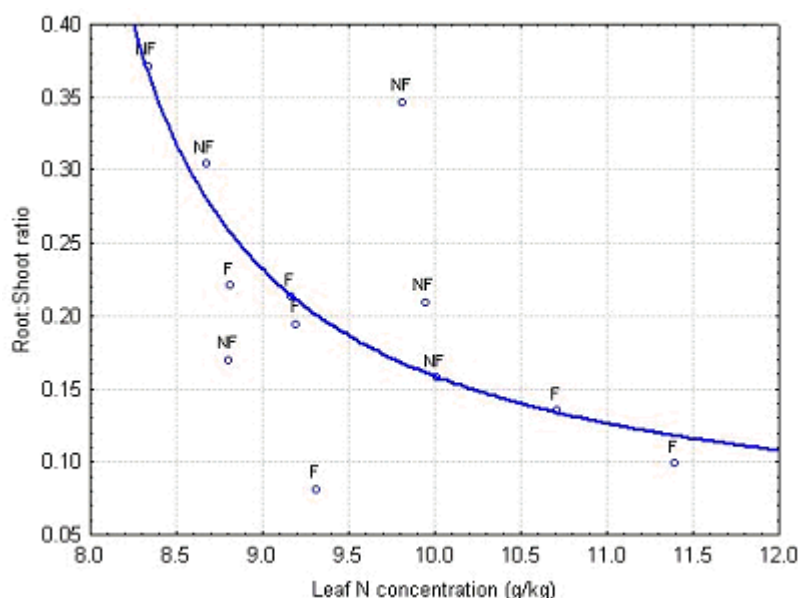
Rostlinná těla obsahují stejné prvky jako těla živočichů, ale v jiném poměru. Vzhledem k přisedlému způsobu života rostlin je rozdíl i v jejich specifickém prostorovém uspořádání. Suchá rostlinná biomasa obsahuje přibližně 45 % uhlíku, 42 % kyslíku, 6,5 % vodíku, 1,5 % dusíku a 5 % minerálních látek /1/. Růst rostlinného těla a hromadění biomasy do různých

orgánů závisí na kooperaci fotosyntézy a příjmu anorganických látek a vody. Při stavbě rostlinného těla přijímá rostlina jednoduché organické látky z vnějšího prostředí, ze vzduchu nebo z půdy. Ze vzduchu využívá oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a kyslík. Uhlík je získán z  $\text{CO}_2$  zafixováním do organických sloučenin, jednoduchých cukrů (glukóza). Z půdy rostlina získává vodu a v ní zorpuštěné soli, složky minerální výživy.

Transport vody a rozpuštěných minerálních látek jde od kořene k nadzemním orgánům rostliny. Rychlost transpiračního toku je závislá na rozdílu hydrostatického potenciálu mezi začátkem a koncem cév a cévic a na jejich průměru. Transport asimilátů jde od zdroje na místo spotřeby (např. květy, listy) a přebytek do zásobních orgánů (kořeny, semena). Místa, kde dochází k hromadění asimilátů, se nazývají sinky (pupeny, listy, květy, plody, semena, kořeny, oddenky, hlízy). Korelační signál mezi zdrojem a sinky zajišťují fytohormony (především cytokinin, auxin a ABA).

## TROCHA TEORIE K POMĚRU R:S

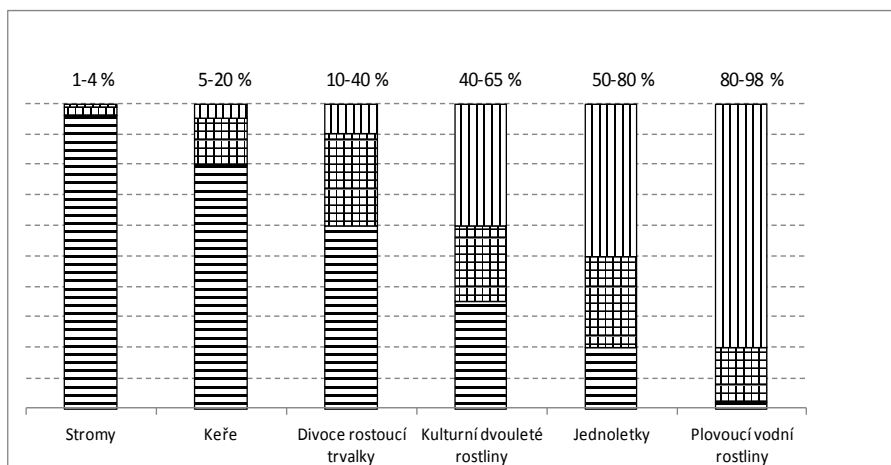
Poměr hmotností mezi podzemní a nadzemní částí rostliny musí být ve vyváženém souladu nejen z hlediska příjmu a zpracování živin, ale především z hlediska stability těla. Na kořenový systém lze hledět jako na kotvící zařízení, které nesmí být rozměrově podhodnocené, ale ani přebujelé. Bylo zjištěno, že váha kořenů, váha nadzemních částí a výška rostliny jsou ve vzájemné pozitivní korelaci /2/. Funkční závislost existuje mezi poměrem R:S a množstvím dusíku uloženého v listech (zjištěno u palmy /3/, Obr. 1). Všechny tyto „rovnováhy“ jsou částečně kontrolovány množstvím stresu a především možnostmi růstu v rámci příslušného druhu /4/.



Obr 1: Funkční závislost mezi poměrem R:S a množstvím dusíku v listech olejové palmy (*Elaeis guineensis* Jacq.). F – hnojeno, NF – nehnojeno, /3/.

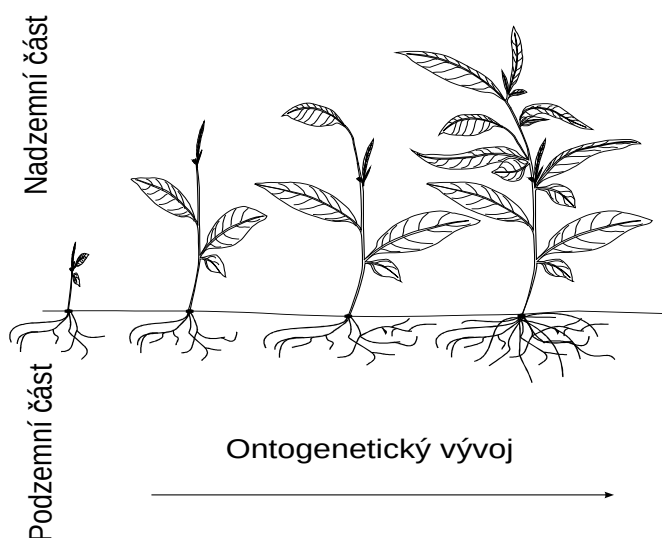
Schopnost morfologické a fyziologické odpovědi na postupnou změnu prostředí mají genetický základ a podléhají přírodnímu výběru /5/. Poměr R:S je specifický např. pro různé

životní formy (Obr. 2), ale je významný i na druhové úrovni rostlin. Obecně platí, že poměr R:S se zvyšuje od jednoletků, přes bylinné trvalky k dřevinám /2/.



Obr 2: Investice do nadzemních částí (fotosyntetický aparát) se liší u skupin rostlin s různou životní strategií. Poměr R:S klesá směrem od životní formy strom po životní formu plovoucí vodní rostlina. Svislé šrafování – spodní hranice, čtverečková síť – horní hranice, vodorovné šrafování – alokace mimo list, /6/.

Během růstu a stárnutí rostliny se poměr R:S postupně zmenšuje. Toto je patrné především u semenáčků. Ve fázi generativního rozmnožování pak obvykle dochází k většímu posílení nadzemní biomasy /7/. Objevení generativních orgánů je spojeno s akumulací asimilátů do těchto sinků. Rostlina při kvetení a zrání semen spotřebovává velké množství energie. Uhlíková bilance je u rostlin, které jsou v generativní fázi cyklu, výrazně posunutá k nadzemní části /8/. Poměr R:S se tedy mění během ontogenetického vývoje (Obr. 3). To bylo dokázáno u různých druhů bylin /9/. Platí to především pro monokarpické rostliny s výjimkou kořenových plodin, kde tento poměr díky hromadění zásob v podzemních orgánech roste /10, 11/. Poměr R:S je u dřevin v porovnání s bylinami méně variabilní /12/.



Obr. 3: U mladších rostlin má R:S vyšší hodnoty, než u rostlin starších, u kterých dochází k většímu zapojení fotosyntetického aparátu.

Mezi vnější a vnitřní faktory ovlivňující poměr  $R:S$  patří anorganické živiny v půdním substrátu, obsah dostupné vody, světlo, oxid uhličitý, teplota prostředí, defoliace nebo mechanické poškození kořenů (obecně disturbance, včetně manipulací), míra generativní reprodukce a hormonální činnost rostliny /9/. Vnější faktory, tedy podmínky životního prostředí, patří mezi nejvýznamnější z praktického zemědělského a lesnického pohledu. Odchytky v  $R:S$  vzhledem k působení životních faktorů a mechanických narušení rostliny jsou diskutovány v textu /13/.

hodnoty sledovaných fyziologických parametrů stresovaných rostlin chmele jsou uvedeny v grafech 1 - 2. Z nich vyplývá, že po přerušení závlivky a navození postupné dehydratace omezením závlivky nastal pokles všech sledovaných fyziologických charakteristik. Již druhý den po omezení závlivky (dehydratace) bylo zaznamenáno statisticky průkazné snížení rychlosti transpirace, jak dokumentuje graf 1. Uvedené výsledky jsou v souladu s pracemi např. /1, 11, 14, 20/.

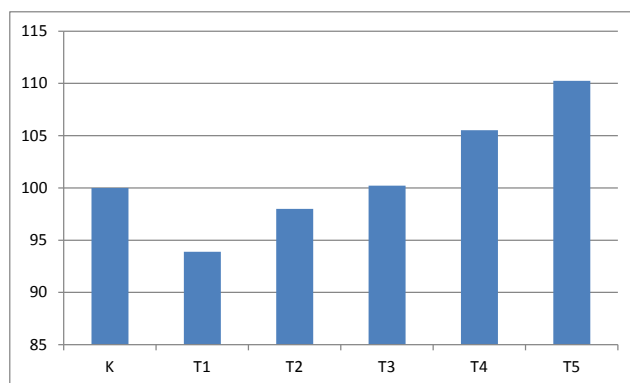
## ROZBOR PŘÍKLADU Z PRAXE

Obrázky 4 a 5 ukazují rozdíl mezi  $R_1:S_1$  spočítaným z maximálních délek podzemních a nadzemních orgánů a  $R_w:S_w$  spočítaným z jejich hmotností sušiny. Jedná se o data z pokusu, kde byla semena ošetřena pěti různými typy testovaných roztoků (data převzata z práce Šerá a Hájková /14/). V Obrázku 4 jsou řazeny ošetřené vzorky T1-T5 od nejmenších hodnot  $R_1:S_1$  po největší. Při stejném značení vzorků jsou na Obrázku 5 znázorněné hodnoty  $R_w:S_w$ . Je vidět, jak se pořadí změnilo.

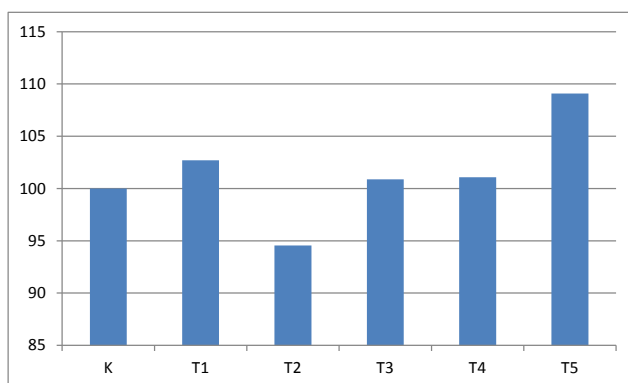
Patrný rozdíl byl zjištěn především u vzorku T1. Hodnota  $R_1:S_1$  byla 1,00 a poměr  $R_w:S_w$  byl 0,86. Zdálo by se tedy, že v prvním případě byl poměr v délkách velmi vyrovnaný a z druhého, že více biomasy bylo investováno do nadzemních částí semenáčků. Toto je špatná interpretace, protože komentáře nebyly vztaheny k příslušným kontrolám. Hodnoty kontrolních vzorků byly  $R_1:S_1 = 1,07$  a  $R_w:S_w = 0,84$ .

Pokud hodnoty  $R:S$  získané od vzorku T1 přepočteme na procenta a vztáhneme k příslušným kontrolním vzorkům, zjistíme, že  $R_1:S_1$  je výrazně nižší oproti kontrole (94 %) a naopak  $R_w:S_w$  je výrazně vyšší než kontrola (103 %) (Obr. 4 a 5). Z poměru  $R_1:S_1$  lze konstatovat, že semenáčky ve vzorku T1 prodlužovaly růst nadzemních částí v porovnání s podzemními částmi více, než jak tento růst probíhal u kontrolního vzorku. Z hodnoty poměru  $R_w:S_w$  lze vyčíst, že semenáčky ve vzorku T1 investovaly více biomasy do podzemních částí. Tato disproporce jednoznačně potvrzuje, že rozdíly v hodnotách mezi  $R_1:S_1$  a  $R_w:S_w$  ukazují na „ošemetnost“ správné interpretace získaných výsledků.

Uvedený příklad výsledků není ojedinělý. Obdobné příklady by šlo vybrat z jiných prací, např. /15 – 18/.



Obr. 4: Procentuální vyjádření hodnot  $R_1:S_1$  u klíčících semen ošetřených různými směsnými stimulanty. K – kontrola bez ošetření, T1-T5 růst po ošetření, /14/.



Obr. 5. Procentuální vyjádření hodnot  $R_w:S_w$  u klíčících semen ošetřených různými směsnými stimulanty. K – kontrola bez ošetření, T1-T5 růst po ošetření, /14/.

## JAK INTERPRETOVAT R:S

Musíme „pohlídat“, abychom automaticky neporovnávali mezi literárními daty, aniž bychom neprovedli verifikaci metodiky, tedy zkontrolovali, jakým způsobem byl prezentovaný poměr stanoven. Kdyby nebyly poměry R:S z délek a hmotností důsledně odlišeny, mohlo by dojít k zavádějícím závěrům při interpretaci výsledků. Pokud máme stanovený poměr z délek, musíme si uvědomit, že je to zcela jiná charakteristika, než když je tento poměr stanoven z hmotností. U hmotností sušiny je jasné, kolik biomasy bylo vloženo do podzemní a do nadzemní části rostliny. Z vlastních zkušeností preferuji stanovování R:S odvozené z hmotností sušiny biomasy, tedy  $R_w:S_w$ .

Rozdíl mezi poměrem hmotností podzemních a nadzemních částí rostliny spočtený z čerstvé biomasy a ze sušiny je pravděpodobně u mnohých druhů rostlin zcela odlišný. Proto při kalkulaci hmotností živých pletiv, nebo dokonce u délkových údajů může dojít k mylné interpretaci. Rostlina hospodář s vodou v závislosti na souběžných podmínkách a může prodlužovat svůj růst jak při stimulaci, tak při stresu.

Je také třeba si uvědomit, že poměr R:S se mění s věkem rostliny. Ontogeneticky mladší rostliny mají kořenový systém větší v porovnání s nadzemní částí, než je tomu u rostlin ontogeneticky starších (Obr. 3). R:S je u mnohých druhů rostlin ve fázi vývoje semenáčků větší než jedna. Naopak v době generativního rozmnožování, kdy plody a semena fungují jako zásobní orgány, jsou asimiláty přednostně směřovány do sinků nadzemních částí rostliny. Poměr R:S tak může být výrazně menší, než když rostlina neplodila.

Velké rozdíly v hodnotách R:S od normálu nastanou, pokud je rostlina nějakým způsobem stimulována (lepší osvětlení, hnojiva, zálivka, vytrhání plevelů) nebo naopak stresována (defoliace, přísušek, konkurence od okolních rostlin). Odchylky mohou nastat díky tomu, že rostlina začne upřednostňovat investice do podzemních nebo nadzemních částí, v závislosti na změněném faktoru (snížení, zvýšení). Ne tedy primárně na tom, zda je stimulována nebo stresována. Pouze ze změněné hodnoty R:S (známe výchozí stav R:S), zpravidla nepoznáme, zda-li byla rostlina pod stresem, nebo zda-li byla stimulována.

Některé odchylky v R:S mohou být dočasné, jindy mohou mít trvalejší charakter. Zpravidla platí, že rostlina má tendenci vyrovnávat vnitřní homeostázi. Menší změny vedou k tomu, že se rostlina po čase přizpůsobí. Pokud jsou nastalé změny natolik velké, nebo když dojde k více negativním změnám najednou (synergické působení), rostlina chřadne a umírá.

## ZÁVĚR

Poměr R:S je geneticky svázan s druhem rostliny. Ovšem má vysokou variabilitu, mění se během ontogenetického vývoje a také se mění (krátkodobě i trvaleji) v závislosti na výkyvech různých faktorů, jako jsou životní podmínky a různá narušení. Ze zemědělské a



lesnické praxe je pravděpodobně nejužitečnější a nejrychlejší stanovit R:S z hmotností sušiny. Tento poměr má vysokou vypovídací schopnost především s porovnáním s kontrolním vzorkem. Komentáře o normálním růstu, stimulacích či o stresových reakcích odvozené pouze z poměru R:S mohou být zavádějící.

## LITERATURA

- /1/ Šebánek, J. et al.: Fyziologie rostlin. SZN, Praha, 1983.
- /2/ Monk, C.: Ecological importance of root/shoot ratios. Bull. Torr. Bot. Club, 1966, 93: 402-406.
- /3/ Goh, K. J., Chew, P. S., Teoh, K. C.: Vegetative growth, resource optimisation and N productivity of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) as influenced by soil and fertilization. New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 26 Sep - 1 Oct 2004, [www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au), 2004.
- /4/ Hunt, R., Nicholls, A. O.: Stress and the coarse control of growth and root-shoot partitioning in herbaceous plants. Oikos, 1986, 47: 149-158.
- /5/ Schlichting, C. D.: The evolution of phenotypic plasticity in plants. Annu. Rev. Ecol. Syst., 1986, 17: 667-693.
- /6/ Životní strategie, <http://botany.natur.cuni.cz/sklenar/EkologieRostlin/ZivotniStrategie.ppt>, poslední aktualizace: 2. 4. 2012, cit.: 26. 11. 2012.
- /7/ Josefusova, Z., Opatra, J., Pavlova, L.: Root-shoot correlation linked with photoperiodic floral induction in *Chenopodium rubrum* L. Biol. Plantarum, 1985:, 27: 386-391.
- /8/ Chung, H. H., Trlica, M. J.: <sup>14</sup>C distribution and utilization in blue grama as affected by temperature, water potential and defoliation regimes. Oecologia, 1980:, 47: 190-195.
- /9/ Wilson, J. B.: A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. Ann. Bot., 1988, 61: 433-449.
- /10/ Ford, M. A., Thorne, G. N.: Effect of CO<sub>2</sub> concentration on growth of sugar-beet, barley kale, and maize. Ann. Bot., 1967, 31: 629-644.
- /11/ Currah, I. E., Barones, A.: Vegetable plant part relationships. I. Effects of time and population density on the shoot and storage root weights of carrot (*Daucus carota* L.). Ann. Bot., 1979, 43: 475-486.
- /12/ Ledig, F. T., Perry, T. O.: Physiological genetics of the shoot-root ratio. Processing of the Society of American Foresters, 1965, 19: 39-43.
- /13/ Šerá, B.: Jak funguje poměr „Root:Shoot“. In: Bláha L., Šerá B. (eds) (2013): Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci rostlin. - Powerprint, Praha.
- /14/ Šerá, B., Hájková, M.: Ošetření osiv novými přípravky se stimulujícími účinky – vliv na klíčivost semen, In: Hnilička F. (ed), Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013, ČZU, Praha.
- /15/ Nováková, M., Gajdová, I., Šerá, B.: Nárůst biomasy u rosičky krvavé (*Digitaria sanguinalis* (L.) SCOP.) v soli kontaminované půdě – skleníkový experiment. - 227-230 p., In: Hnilička F. (ed), Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2012, ČZU, Praha, 2012.
- /16/ Gavril, B., Hnatiuc, E., Sera, B., Hruskova, I., Padureanu, S., Haisan, C.: Possibilities of performing treatments on seeds using cold plasma discharges. - 189-192, In: XXIXth Symposium on Physics of Switching Arc, September 5-9, 2011, Nove Mesto na Morave, Brno, 2011.
- /17/ Hrušková I., Šerá B., Petřík V., Šerý M., Špatenka P.: Stimulace klíčivosti máku setého pomocí plasmatu. - 64-67, In: Bláha L. & Hnilička F. (eds), Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011, VÚRV, Praha, 2011.
- /18/ Šerá, B., Špatenka, P., Šerý, M., Vrchotová, N., Hrušková, I.: Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. – IEEE Transactions on Plasma Science, 2010, 38(10): 2963-2968.

## **OŠETŘENÍ OSIVA NOVÝMI PŘÍPRAVKY SE STIMULUJÍCÍMI ÚČINKY – VLIV NA KLÍČIVOST SEMEN**

### ***SEED TREATMENT WITH NEW STIMULATIVE PRODUCTS – SEED GERMINATION IMPACT***

Božena Šerá<sup>1</sup>, Miroslava Hájková<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR, Na Sádkách 7, CZ 370 05 České Budějovice, Czech Republic, e-mail: sera@nh.cas.cz

<sup>2</sup> TRISOL s.r.o., Gorazdova 332/20, CZ 120 00 Praha 2 – Nové Město, e-mail: miruska.hajkova@seznam.cz

#### ***Summary***

The seeds of conventional crops have been tested for stimulation effect of a new technological generation of preparations originated in the company of TRISOL. Germination and growth experiments were performed in standard laboratory conditions. Seed germination, growth and dry weight of seedlings for winter wheat, spring barley and poppy seed were monitored. All preparations under development had a positive effect on the seed germination. Growth stimulatory effect was observed above all in poppy seed.

*Key words: auxin, sacharide extrakt, humate, nanotechnology, stimulation, silver.*

#### ***Souhrn***

Na semenech běžných zemědělských plodin byl ověřován stimulační efekt vyvíjených preparátů nové technologické generace firmy TRISOL s r.o. Růstové pokusy probíhaly ve standardních laboratorních podmínkách. Sledována byla klíčivost semen, růst a hmotnost sušiny semenáčků u pšenice ozimé, ječmene jarního a máku setého. Všechny vyvíjené přípravky měly pozitivní vliv na klíčivost osiva. Stimulační efekt růstu byl pozorován především u máku setého.

*Klíčová slova: auxin, cukernatá šťáva, humát, nanotechnologie, stimulace, stříbro.*

#### **ÚVOD**

Část výzkumu z agro-potravinářského sektoru je v současné době směřován k alternativnímu (nekonvenčnímu) zemědělství, které ve svém důsledku přispívá ke snižování zátěže životního prostředí a ke zvyšování kvality a zdravotní nezávadnosti potravin. Vstup mikro a nanotechnologií do zemědělského výzkumu je vědeckým počinem rozvíjeným především na bázi vývoje účinných rostlinných preparátů. Především nanotechnologie jsou označovány za klíčové technologie nového století, s principiálním technickým, ekonomickým, ekologickým a strategickým dopadem /1/. Nově vyvinuté produkty nanotechnologií mohou přispět k inovaci prostředků, metod a systémů ochrany zemědělských plodin a skladovaných produktů vůči škodlivým organismům a to v souladu se stávající legislativou, např. /2-3/. Dále pak mohou zkvalitnit postupy pro minimalizaci spotřeby syntetických pesticidů a sekundárně tak omezit výskyt reziduí pesticidů a ostatních kontaminantů v potravinových řetězcích.

Tento příspěvek se zabývá problematikou účinku přípravků nové technologické generace na vývoj a růst rostlin. Vývoj testovaných přípravků spočívá v určité fyzikální úpravě použitých přírodních látek s obsahem mikroprvků (především cukernatých šťáv). Principem je aktivizace těchto mikroprvků na přirozeně působící stresové látky a odpověď rostlin na toto působení. Jde o první laboratorní testy klíčivosti a růstu semen jako reakce na tyto vyvíjené látky. Výsledky testů poslouží k nasměrování dalšího vývoje těchto stimulačních rostlinných preparátů.

## MATERIÁL A METODA

### Popis testovaných přípravků

#### *TRISOL SEED*

Soli huminových látek (50 % v sušině), směs aminokyselin (15 % v sušině), výtazek z mořských řas (3 % v sušině), molybden a bor (obsah směsi 5 % v sušině), kompletní škála mikro a makroprvků (poměrově odpovídající průměrnému zastoupení v rostlinách), kombinace syntetických auxinů.

#### *TRISOL SILVA*

Soli huminových látek (25 % v sušině), směs aminokyselin (5 % v sušině), výtazek z mořských řas (1 % v sušině), přírodní sacharidy (20 % v sušině), molybden a bor (obsah směsi 3 % v sušině), kompletní škála mikro a makroprvků (poměrově odpovídající průměrnému zastoupení v rostlinách), stříbro v chelátových vazbách (obsah řádově v 0,1 %).

#### *NANO 1B*

Modifikovaná a sušená přírodní cukernatá šťáva (95 %). Použité ředění: 0,3 g přípravku smícháno s 200 ml destilované vody.

#### *NANO 2A*

Modifikovaná a sušená přírodní cukernatá šťáva (90 %), směs auxinů (5 %). Použité ředění: 0,3 g přípravku smícháno s 200 ml destilované vody.

### Stimulační testy

Obilky a semena zemědělských plodin (pšenice ozimá, ječmen jarní, mák setý) byla a namořena testovanými látkami v laboratorních podmínkách (koncentrace viz tabulky výsledků). Pro stanovení jejich klíčivosti a časného byly použity plastové Petriho misky o průměru 9 cm. Do každé misky byly vloženy tři filtrační papíry KA0/80, naneseo 5ml destilované vody a vloženo 30 zdravých namořených semen (až po jejich dokonalém uschnutí). Moření osiva probíhalo v laboratorních podmínkách, množství použitých přípravků je uvedeno v Tabulce 1. Namočeno bylo vždy minimálně 0,1 kg osiva.

Tab. 1: Množství přípravku (ml) použitého na moření osiva (při počtu na 1000 semen).

|              | <b>Pšenice ozimá</b> | <b>Ječmen jarní</b> | <b>Mák setý</b> |
|--------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| TRISOL SEED  | 0,0500               | 0,0500              | 0,0120          |
| TRISOL SEED  | 0,0250               | 0,0250              | 0,0060          |
| NANO 1B      | 0,0100               | 0,0100              | 0,0036          |
| NANO 2A      | 0,0100               | 0,0100              | 0,0036          |
| TRISOL SILVA | 0,0500               | 0,0500              | 0,0072          |

Inkubace semen probíhala za standardních laboratorních podmínek při teplotě cca 22 °C a režimu den/noc (10/14). Pro každý treatment a příslušnou kontrolu bylo provedeno pět

opakování. Po 5 dnech inkubace byly hodnoceny počty klíčících semen, délky jednotlivých semenáčků a hmotnost finální biomasy (30ti semenáčků). Získaná data byla po logaritmické transformaci vyhodnocena pomocí statistického testu one-way ANOVA.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Koncentrace testovaných preparátů byla stejná pro pšenici ozimou a ječmen jarní. U těchto rostlin bylo možné odlišit nadzemní (lodyžka) a podzemní část (kořínek) semenáčku (Tabulka 2). Mezi zjištěnými daty nebyl nalezen signifikantní rozdíl na hladině významnosti  $P < 0,05$ .

Tab. 2: Hodnoty měřených parametrů klíčivosti a počátečního růstu u pšenice ozimé a ječmene jarního. Pozitivní vliv preparátu vzhledem ke kontrole je zvýrazněn tučně.

| Varianta      |     | Klíčivost |     | Délka kořínku |     | Délka lodyžky |     | Hmotnost kořínků |     | Hmotnost lodyžek |     |
|---------------|-----|-----------|-----|---------------|-----|---------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|
|               | l/t | (1)       | %   | (mm)          | %   | (mm)          | %   | (g)              | %   | (g)              | %   |
| Pšenice ozimá |     |           |     |               |     |               |     |                  |     |                  |     |
| TRISOL SEED   | 1   | 28        | 105 | 51            | 103 | 45            | 98  | 0,142            | 104 | 0,168            | 103 |
| TRISOL SEED   | 0,5 | 26        | 99  | 47            | 94  | 44            | 96  | 0,127            | 93  | 0,161            | 98  |
| NANO 1B       | 0,2 | 27        | 102 | 48            | 98  | 46            | 99  | 0,138            | 101 | 0,164            | 100 |
| NANO 2A       | 0,2 | 27        | 104 | 50            | 102 | 43            | 93  | 0,139            | 102 | 0,153            | 94  |
| TRISOL SILVA  | 1   | 27        | 103 | 44            | 89  | 43            | 94  | 0,131            | 96  | 0,151            | 92  |
| Ječmen jarní  |     |           |     |               |     |               |     |                  |     |                  |     |
| TRISOL SEED   | 1   | 29        | 104 | 79            | 98  | 37            | 97  | 0,238            | 100 | 0,135            | 102 |
| TRISOL SEED   | 0,5 | 29        | 107 | 80            | 101 | 34            | 90  | 0,219            | 92  | 0,123            | 93  |
| NANO 1B       | 0,2 | 28        | 104 | 77            | 96  | 37            | 98  | 0,221            | 93  | 0,128            | 97  |
| NANO 2A       | 0,2 | 29        | 105 | 80            | 101 | 38            | 100 | 0,246            | 104 | 0,133            | 100 |
| TRISOL SILVA  | 1   | 29        | 105 | 80            | 100 | 37            | 97  | 0,232            | 98  | 0,133            | 100 |

Pozitivní vliv všech látek je zjevný především na klíčivosti semen (zvýšení o 2-7 %). U ječmene jarního byl nárůst klíčivosti oproti kontrole o 7 %, ačkoliv byla použita poloviční dávka přípravku TRISOL SEED. Délka kořínků a lodyžek semenáčků není strategickou charakteristikou, protože se může jednat o prodlouživý růst, který je charakteristický i pro stresové reakce rostlin. Přesto je dobrým znamením, že délka kořínků byla větší ve dvou případech u obou obilnin (TRISOL SEED, NANO 2A). Podzemní systém mladé rostlinky je důležitější pro její rozvoj a přežití, než nadzemní část. Stimulační efekt na nárůst biomasy byl více zřejmý u pšenice ozimé než u ječmene jarního.

Pro mák setý byly použity vyšší dávky přípravků na tunu osiva než pro obilniny vzhledem k výsevnímu množství plodiny na hektar. U semenáčků máku setého není jednoduché odlišit nadzemní a podzemní část, proto byl měřen celý semenáček včetně děložních lístků (Tabulka 3). U máku setého bylo zjištěno, že všechny testované preparáty se nějakou měrou stimulačně podílejí jak na klíčivosti (zvýšení o 2-3 %), tak na růstu semenáčků (zvýšení 3-22 %) a tvorbě biomasy (zvýšení o 11-19 %). Ačkoliv byl zaznamenán relativně velký procentní nárůst oproti kontrole především v nárůstu biomasy, získaná data jsou bez signifikantních rozdílů na hladině významnosti  $P < 0,05$ . To je způsobeno velkou variabilitou v datech. Tento jev byl u máku setého pozorován již dříve při jiných pokusech /4-5/.

Tab. 3: Hodnoty měřených parametrů klíčivosti a počátečního růstu u máku setého. Pozitivní vliv preparátu vzhledem ke kontrole je zvýrazněn tučně.

| Varianta        | l/t | Klíčivost |            | Délka semenáčku |            | Hmotnost semenáčku |            |
|-----------------|-----|-----------|------------|-----------------|------------|--------------------|------------|
|                 |     | (1)       | %          | (mm)            | %          | (mg)               | %          |
| <b>Mák setý</b> |     |           |            |                 |            |                    |            |
| TRISOL SEED     | 20  | 27        | 100        | 17              | 98         | 3,10               | <b>116</b> |
| TRISOL SEED     | 10  | 27        | <b>102</b> | 18              | <b>103</b> | 3,12               | <b>116</b> |
| NANO 1B         | 6   | 28        | <b>103</b> | 19              | <b>107</b> | 2,50               | 93         |
| NANO 2A         | 6   | 26        | 98         | 19              | <b>109</b> | 2,98               | <b>111</b> |
| TRISOL SILVA    | 12  | 28        | <b>103</b> | 21              | <b>122</b> | 3,18               | <b>119</b> |

Vyvíjené stimulanty navazují na osvědčenou řadu přípravků TRISOL. Tetované přípravky patří mezi nepřímá hnojiva, tedy přípravky, které neobsahují zásadní množství základních rostlinných živin (jak organickou tak minerální formu živin). Vliv nepřímých hnojiv spočívá ve zvýšení metabolismu rostliny a umožnění příjmu, zpracování a využití základních živin (NPK). Takto mohou fungovat například huminové kyseliny nebo fulvokyseliny /4,6/.

TRISOL SEED je vyvíjený jako stimulant počátečních stádií růstu plodin. TRISOL SILVA je určený pro všechny fáze vývoje, tedy od osiva až po fenofázi po odkvětu plodin. Přípravek neobsahuje syntetické auxiny, ale je založen na obsahu přírodních cukernatých šťáv, mikroprvků a stříbra. Název NANO u dalších dvou přípravků je odvozen z koncentrací mikroprvků (v řádu  $10^{-9}$ ). Přípravek NANO 1B se od přípravku NANO 1B liší obsahem směsi syntetických auxinů (vše ve snížených dávkách).

Všechny vyvíjené přípravky měly pozitivní vliv na klíčivost osiva. Stimulační efekt růstu byl pozorován především u máku setého. Následující výzkum a vývoj bude proto směřován do posílení růstových parametrů plodin.

## LITERATURA

- /1/ Návrh národního programu výzkumu  
[http://aplikace.msmt.cz/HTM/castIIIPriloha1NNPPVVdovlady15\\_4.htm](http://aplikace.msmt.cz/HTM/castIIIPriloha1NNPPVVdovlady15_4.htm), 8.11.2012
- /2/ Zákon 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči a o změně některých souvisejících zákonů
- /3/ Zákon 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů
- /4/ Šerá B., Novák F., Gajdová I. (2012): Pozitivní vliv humátů na růst vybraných druhů rostlin. – 82-85 p. In: Hnilička F. (ed), Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011, ČZU, Praha.
- /5/ Hrušková I., Šerá B., Petřík V., Šerý M. & Špatenka P. (2011): Stimulace klíčivosti máku setého pomocí plasmatu. - 64-67, In: Bláha L. & Hnilička F. (eds), Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011, VÚRV, Praha.
- /6/ Šerá, B., Novák, F.: The effect of humic substances on germination and early growth of Lamb's Quarters (*Chenopodium album* agg.). Biologia 66, 2011: 470-476

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory firmy TRISOL, s r.o.

## **ÚLOHA MOKŘADŮ V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ A JEJICH PŘÍNOS KE ZMÍRŇOVÁNÍ KLIMATICKÝCH ZMĚN – SYNTÉZA SOUČASNÉHO STAVU ZNALOSTÍ**

### ***THE ROLE OF WETLANDS AND AMELIORATION OF CLIMATE CHANGE IN AN AGRICULTURAL LANDSCAPE – SUMMARY OF CURRENT KNOWLEDGE***

Martina Eiseltová<sup>1</sup>, Jan Pokorný<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně; eiseltova@vurv.cz

<sup>2</sup> ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

#### ***Summary***

Water plays an essential role in the dissipation of solar energy. Through drainage and the destruction of natural vegetation cover humans have exerted a severe impact on the distribution of solar energy. While ecosystems well-supplied with water, such as wetlands, cool themselves by transferring energy in the form of water vapour as latent heat, landscape that is largely drained has no such “heat sinks” and gets overheated. Lowered water tables also lead to enhanced mineralization of organic matter and increased nutrient transport to the sea. We provide evidence that there is a vital need to return more water and wetlands to the landscape in order to reduce the effects of climate change, to prevent landscape overheating and drying out, and to reduce the irreversible matter losses.

*Key words: wetlands, vegetation, energy dissipation, climate change*

#### ***Souhrn***

Voda hraje rozhodující úlohu v disipaci (distribuci) sluneční energie dopadající na zemi. Odvodněním a odstraněním přirozeného vegetačního krytu, člověk významnou měrou zasáhl do distribuce sluneční energie na zemském povrchu. Zatímco v krajině dobře zásobené vodou, se většina sluneční energie váže ve vodní páře a krajina se tím aktivně chladí, v odvodněné krajině se většina sluneční energie mění na zjevné teplo a krajina se ohřívá. Pokles vodní hladiny také vede k rychlejší mineralizaci organické hmoty a zvyšuje odtok živin do moře. Abychom dosáhli zmírnění projevů klimatické změny, zamezili přehřívání krajiny, jejímu dalšímu vysychání a ztrátě živin, je třeba zlepšit retenci vody v krajině. Toho je možné dosáhnout obnovou mokřadů s jejich přirozeným klimatizačním efektem.

*Klíčová slova: mokřady, vegetace, disipace energie, klimatická změna*

## **ÚVOD**

Od počátku rozvoje zemědělství začal člověk výrazně měnit rostlinný kryt na zemi. Původní, po tisíciletí se utvářející vegetace, která nejlépe odpovídala místním půdně-klimatickým podmínkám, začala být s rozvojem zemědělství postupně nahrazována monokulturami relativně úzkého spektra pěstovaných plodin. S rozšířením pěstování obilovin - původem stepních trav – do klimaticky méně vhodných podmínek, se přistupovalo k rozsáhlému odvodňování orné půdy. Odvodňovaly se také louky a pastviny, aby se zvýšila produkce biomasy. Odvodněny byly i mnohé říční a potoční nivy s cílem získání další

zemědělské půdy. Cílem člověka se stalo odvést vodu co nejrychleji z krajiny do moře. S tím souviselo i napřimování a prohlubování toků řek, od velkých vodních toků až po ty malé, místní. Udává se, že za posledních 100 - 150 let bylo v Evropě odvodněno a vysušeno okolo 50 % mokřadů. Přesné údaje ztráty mokřadů pro Českou republiku nejsou zatím známy, ale i u nás byl vývoj podobný jako v ostatních částech Evropy.

Jako odpověď na vysoký úbytek mokřadů a k zajištění jejich ochrany byla v roce 1971 podepsána mezinárodní úmluva na ochranu mokřadů známá jako Ramsarská úmluva. Česká republika přistoupila k této úmluvě v roce 1991, tehdy ještě jako bývalé Československo. Dle definice mokřadu používané touto úmluvou se mezi mokřady na našem území řadí: přirozené mokřady jako jsou prameniště, toky, mrtvá ramena, tůňe, říční nivy, rašeliniště a jezera, a dále člověkem vytvořené biotopy – rybníky a jejich litorály, mokré louky, vodní nádrže, lomy a pískovny.

Podrobně byl u nás sledován vývoj rozlohy rybníků, které se u nás začaly budovat ve 12. století. Jejich rozloha vrcholila v 16. století, kdy bylo evidováno 180 tis. ha rybníků, v 18. stol. pak zaujímaly necelých 80 tis. ha a v současnosti se rozloha rybníků pohybuje okolo 52 tis. ha. Ještě počátkem 19. století byly na Jižní Moravě mnohé velké rybníky, které byly postupně vysušeny za účelem získání pozemků pro pěstování cukrovky. Další odvodňování postihlo zejména prameniště, říční nivy, podmáčené louky, likvidovány byly mnohé rybníční litorály. Vyvrcholením negativních zásahů člověka do vodního režimu krajiny bylo v České republice rozsáhlé zcelování zemědělských pozemků a rozsáhlé plošné meliorace. Na území naší republiky bylo odvodněno více než 10 000 km<sup>2</sup> (25,4 %) zemědělské půdy. Více než polovina toků byla regulována (napřímena a zahloubena) a délka toků zkrácena o jednu třetinu. Na mnohých místech pak klesla hladina spodní vody o 1-1,5 metru.

Dokumentace k Programu revitalizace říčních systémů /1/ uvádí, že na území ČR by bylo vhodné revitalizovat 45 000 km upravených drobných vodních toků, včetně obnovy niv. Z celkové délky toků, které by měly být k dosažení vhodného ekologického stavu a zlepšení kvality vody revitalizovány, bylo však do současnosti realizováno jen nepatrné procento; například dle sdělení pracovníka Povodí Moravy /2/ se v povodí Moravy jedná přibližně o dvě až tři desítky km revitalizovaných toků.

K pochopení funkce mokřadů si ukážeme, jak jsou mokřadní rostliny svojí fyziologií přizpůsobeny zaplavení, jak se mění toky látek po odvodnění půdy a jakým způsobem vegetace ovlivňuje toky látek, koloběh vody a disipaci sluneční energie.

## FYZIOLOGIE ZAPLAVOVANÉ ROSTLINY

Kořeny mokřadních rostlin jsou přizpůsobeny k životu v zaplavené půdě, která obsahuje velmi málo kyslíku. Vzduch obsahuje téměř 21 % kyslíku, ve vodě se ovšem kyslík rozpouští špatně. Voda nasycená vzduchem obsahuje přibližně 30x méně kyslíku nežli je ho ve vzduchu. Zemědělské plodiny jako je pšenice, ječmen, žito pocházejí ze stepních trav a nesnášejí zaplavení kořenů vodou. V půdě zaplavené vodou hynou i plodiny z „Nového světa“ -brambory a kukuřice. Úspěšné pěstování těchto plodin vyžaduje půdu, která se nezaplavuje.

Mokřadní rostliny jako jsou rákos, orobinec, ostřice, sítiny a z plodin rýže, jsou přizpůsobeny k nedostatku kyslíku v půdě působeném zaplavením. Do kořenů mokřadních rostlin totiž proudí zvolna vzduch stonkem z listů pletivem, které se nazývá aerenchym.

Vzduch se dostává až k dělivému pletivu kořenové špičky, takže kořen v zaplavené půdě přirůstá. Vzduch dokonce přechází pokožkou do vnějšího prostředí kořene a to se oxiduje. Na povrchu a v okolí kořene mokřadních rostlin můžeme pozorovat sraženinu kyslíčků železa rezaté barvy. Kořen si tak upravuje bezprostřední okolí, zabraňuje průniku toxických redukováných iontů železa a manganu a umožňuje existenci aerobních mikroorganismů.

Metabolismus kořene mokřadních rostlin není výhradně aerobní. Produkty anaerobního metabolismu jako je etanol, organické kyseliny, amoniak, sulfidy a metan jsou jedovaté. Mnohé mokřadní rostliny jsou odolnější vůči těmto látkám nežli zemědělské plodiny a jiné běžné rostliny. Anaerobní metabolismus má nízkou energetickou účinnost oproti metabolismu aerobnímu (glykolýze). Mokřadní rostliny často hromadí velké množství škrobu. Známé jsou mohutné oddenky rákosy i leknínu, z nichž čerpá rostlina energii, když prorůstá na jaře půdou a vodním sloupcem, než vytvoří fotosyntetické orgány.

## TVORBA ORGANICKÉ HMOTY A RETENCE ŽIVIN

Organické látky se vytvářejí v rostlinách fotosyntézou. Rostlina přijímá oxid uhličitý průduchy a redukuje ho vodíkem, který získává štěpením vody s využitím sluneční energie. Kyslík vzniklý štěpením vody se vylučuje průduchy do atmosféry. Atmosferický kyslík byl vytvořen fotosyntézou a jeho koncentrace v atmosféře je fotosyntézou udržována. Rostlina si vytváří látky pro stavbu kořenů, stonku, listů; tyto látky se vrací do půdy, když rostlina uhynie. Rychlost rozkladu organických látek zpět na minerální složky závisí na přítomnosti bakterií, dostupných živin a hlavně na přítomnosti kyslíku. V zaplavené půdě mokřadů je kyslíku nedostatek a proto v ní probíhá rozklad organických látek pomalu.

Názorným příkladem je tvorba rašeliny ve vrchovištích zásobovaných dešťovou vodou: produkce organických látek (rychlost růstu) je v rašeliništích velmi pomalá kvůli nedostatku dostupných živin. Nicméně rychlost rozkladu organických látek je ještě pomalejší nežli jejich produkce, takže se organické látky v rašeliništi hromadí a vzniká rašelina. Takové rašeliniště přirůstá rychlostí přibližně o 1 mm za rok. Slatiny, které jsou syceny vodou bohatší na živiny, vytvářejí více organických látek a přirůstají rychleji.

Organické látky z rostlinných těl obsahují živiny (N, P), kovy alkalických zemin (Ca, Mg, K, Na) a další prvky. Tyto prvky se při rozkladu (mineralizaci) organické hmoty uvolňují do prostředí. Rašelina neutralizovaná vápencem přidaná do provzdušněné půdy se rozkládá, uvolňují se živiny, čímž se zvyšuje úrodnost půdy. Rychlost rozkladu organických látek v provzdušněné půdě je ovšem řádově vyšší nežli rychlost jejich tvorby v rašeliništi. Z tohoto důvodu nemůže být rašelina považována za obnovitelný zdroj a většina vyspělých států těžbu rašeliny pro zemědělské účely zakázala.

Schlesinger /3/ uvádí, že u většiny půd dochází v prvních dvou desetiletích po přechodu na zemědělské využívání ke ztrátám 20 – 30 % půdní organické hmoty. Poté se další pokles organické půdní hmoty zastaví a vytvoří se nová rovnováha s nižší produkcí rostlinného detritu a vyšší rychlostí rozkladu organické hmoty než u původního přirozeného rostlinného krytu /4; citováno v 3/. Úbytek půdní organické hmoty způsobuje sníženou retenci vody; zvýšený odtok vody pak také vyšší odnos živin uvolněných při rozkladu organické hmoty.

Ve funkčních mokřadech se naopak organické látky a v nich obsažené živiny hromadí. Obsah živin v rostlinné biomase je variabilní podle druhu rostliny a podle podmínek, ve



kterých rostla. Pro základní orientaci funkce mokřadů v tvorbě organické hmoty, akumulaci uhlíku a živin lze uvést následující rozsahy koncentrací živin v suché biomase rostlin (Tab. 1).

*Tab. 1. Produkce sušiny (biomasa) a obsah živin v sušině (váhová %) helofyt (cévnatých rostlin kořenicích pod vodou či ve vodou nasycené půdě a se stonky a listy převážně vynořenými nad vodu) rostoucích v litorálu třeboňských rybníků. Zdroj dat /5,6/.*

|          | Biomasa<br>kg m <sup>-2</sup> | C<br>% | N<br>% | P<br>%  | K<br>%  | Ca<br>% | Mg<br>% |
|----------|-------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Helofyta | 0,5-3,0                       | ca. 40 | 1 -2,5 | 0,2-0,5 | 1,1-4,1 | 0,1-1,2 | 0,1-0,3 |

Mokřady zadržují živiny zejména v kořenové zóně v půdě. Navíc v mokřadní půdě s nedostatkem kyslíku probíhá denitrifikace – dusičnan se redukuje na plynný dusík a uvolňuje se do atmosféry, proto v eutrofních vodách s anaerobním dnem se ve vegetační sezóně postupně projevuje nedostatek dusíku.

Zásadní rozdíl v zadržování živin je mezi jezery a rybníky s aerobním a anaerobním dnem. Anaerobní sedimenty uvolňují do vodního sloupce fosfor ve formě přístupné pro řasy, zatímco v okysličeném sedimentu se fosfor sráží s trojmocným železem /7/.

## VÝZNAM EVAPOTRANSPIRACE V DISIPACI SLUNEČNÍ ENERGIE

Příjem oxidu uhličitého a výdej kyslíku jsou provázeny mohutným výdejem vodní páry. Na každou molekulu přijatého oxidu uhličitého odchází průduchem až několik set molekul vodní páry. Výdej vody rostlinou (transpirace) spotřebovává velké množství sluneční energie, rostlina se tak doslova chladí. Voda se odpařuje též z půdy a z povrchu rostlin, proto se proces výdeje vody porostem nazývá evapo-transpirace. Sluneční energie se nemění na tak zvané zjevné teplo, ale spotřebovává se na výpar vody, teplota porostu se proto nezvyšuje. Na přeměnu jednoho litru vody v kapalném stavu na vodní páru se spotřebuje 2,5 MJ energie (0,69kWh). Z jednoho metru čtverečního mokřadního porostu se odpaří i několik litrů vody, takže na výpar se spotřebuje i několik kWh sluneční energie na každém metru čtverečním za den. Zatímco fotosyntéza spotřebovává řádově jednotlivé wattly na metr čtverečný, evapotranspirace spotřebovává stovky wattů. Na rozloze 100 ha (1 km<sup>2</sup>) se tedy evapotranpirací váží stovky MW sluneční energie. Tato energie se neprojeví jako vzestup teploty a naopak se uvolní na chladných místech, kde se vodní pára sráží zpět na kapalinu. Vodu a rostliny můžeme proto považovat za perfektní systém vyrovnávající rozdíly teplot, současně se vytváří biomasa a rostliny čistí vodu na úroveň vody destilované.

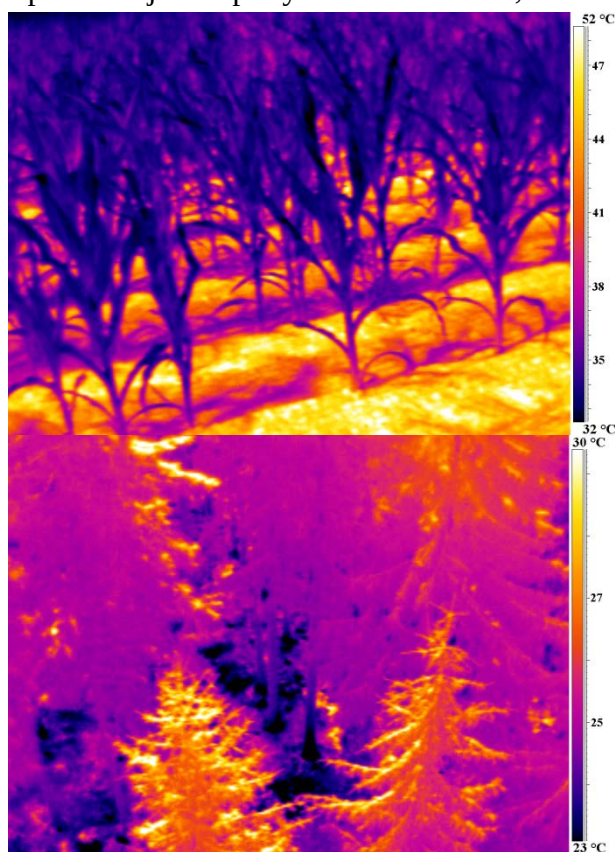
V krajině dostatečně zásobené vodou a s půdami s vysokou schopností vodu v půdě zadržovat se až 80 % dopadající sluneční energie váže jako tzv. latentní teplo ve vodní páře, zatímco v odvodněné krajině se většina této energie přeměňuje na teplo zjevné /8/. Ve výjimečných případech, kdy se horký vzduch s relativně nízkou vlhkostí pohybuje přes mokřad obklopený vysušenou krajinou, může se do vodní páry navázat i více než 100% sluneční energie dopadající na m<sup>2</sup> /9, 10,11/.

## VODA UTVÁŘÍ KLIMA

Je třeba si uvědomit, že vodní pára je hlavním skleníkovým plynem chránícím zemský povrch před tepelnými ztrátami; bez vodní páry a bez ostatních skleníkových plynů

v atmosféře by naše planeta byla v průměru o 33°C chladnější než je nyní, přičemž vodní pára k oteplení zemského povrchu přispívá v průměru 60 % /3/. Díky své vysoké tepelné kapacitě je voda schopna pomocí koloběhu vody, v procesu evapotranspirace a kondenzace, disipovat velké množství sluneční energie a tím ovlivňovat klima – zejména vyrovnávat rozložení teplot v krajině v prostoru a čase. Koloběh vody je tudíž účinným nástrojem ke snižování rozdílů teplot a udržování teplot v rozsahu příznivém pro život na Zemi. Zatímco v přímořských oblastech většina dešťových srážek pochází z výparu vody z oceánu, ve vnitrozemí hraje přinejmenším stejně velký význam lokální koloběh vody pocházející z evapotranspirace v povodí /3/.

Termovizní snímky ukazují úlohu vegetace při tvorbě místního klimatu. V kukuřičném poli (obr. 1 vlevo) je vyšší teplota na povrchu půdy (47 °C), zatímco vlastní porost kukuřice je ochlazován transpirací a teplota porostu se pohybuje kolem 32 °C. Zde dochází k tomu, že teplý vzduch z povrchu půdy stoupá vzhůru a s sebou odnáší velké množství vodní páry, čímž se z porostu ztrácí voda. Opačné rozložení teplot je vidět v lesním porostu (obr. 1 vpravo; v podrostu jsou teploty mezi 23 – 26 °C, zatímco v korunách stromů teplota dosahuje 29,5 °C.



Obr. 1: Termovizní snímek znázorňující teplotu povrchu kukuřičného pole (vlevo; snímek z 9. července 2010 ve 14:19 GMT ) a lesního porostu (vpravo; snímek z 13. července 2010 ve 14:15 GMT).

Tuto teplotní inverzi si můžeme vysvětlit tím, že těžší, chladnější vzduch se drží při zemi a tudíž zde i za slunného počasí může docházet ke kondenzaci vody v podrostu. V noci, kdy se v korunách stromů vzduch ochladí, nasytí se vodní parou a v korunách stromů dojde ke kondenzaci vodní páry. Makarieva a Gorshkov /12/ předložili teorii, že intenzivní kondenzace vodní páry spojená s vysokým výparem z rozsáhlých lesních porostů udržuje na pevnině oblasti nízkého atmosférického tlaku, které jsou akceptorem dešťových srážek.

## DISKUSE A ZÁVĚR

Odstraněním přirozeného rostlinného krytu a přechodem k intenzivní zemědělské produkci, člověk výrazně přispěl ke zvýšenému obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře. Přestože větší část nárůstu CO<sub>2</sub> v atmosféře můžeme přičíst spalování fosilních paliv, destrukce původního rostlinného pokryvu a pěstování polních plodin často doprovázené odvodněním půdy přispívá k nárůstu CO<sub>2</sub> v atmosféře nezanedbatelným podílem, který se může blížit i k 50 %.

Ještě větším problémem než je samotný růst průměrné teploty označované termínem globální oteplování či klimatická změna a připisované nárůstu skleníkových plynů je stále se prohlubující rozkolísanost srážek, dlouhá období sucha střídaná přívalovými srážkami, po nichž v důsledku snížené retence vody v krajině stále častěji následují katastrofické povodně.

Poslední dobou se hovoří spíše o klimatické změně nežli o globálním oteplování. Vichřice, lokální přívalové srážky či výkyvy teplot nelze vysvětlit pouhým zvýšením koncentrace skleníkových plynů – ty jsou rozloženy rovnoměrně a jejich efekt je podle IPCC 1–3W.m<sup>2</sup> od roku 1750 (radiative forcing). Vichřice, přívalové deště jsou poháněny rozdílem teplot a rozdílem tlaku vzduchu. Tyto rozdíly se zesilují následkem nedokonalého vyrovnávání teplot v důsledku narušeného koloběhu vody. V odlesněných oblastech východní Afriky stouply povrchové teploty po odlesnění až o 20 °C /13/. Odvodnění krajiny vede k zásadnímu zvýšení povrchových teplot a zrychlenému proudění ohřátého vzduchu do atmosféry. Klimatologie musí pracovat s teplotami měřenými ve výšce dvou metrů nad povrchem teploměrem umístěným ve stínu meteo-budky. Tento standardní způsob nezaznamenává podstatné zvýšení teploty povrchu půdy po odvodnění a po odstranění vegetace.

V současné době máme dostatečné množství dat, která nám ukazují, jak změnou rostlinného pokryvu a odvodňováním krajiny člověk mění využití (disipaci) slunečního záření dopadajícího na zemi i toky vody a látek v krajině (např. 8, 12, 14, 15, 16, 17, 18/.

Jak jsme si ukázali, zemědělci hospodaří na rozsáhlých odvodněných plochách a ovlivňují tak podstatně toky sluneční energie a místní klima i kvalitu a množství odtékající vody. Ve zprávě Millennium Environmental Assessment /19/ je uvedeno, že každý rok se 60,000 km<sup>2</sup> mění v poušť v důsledku špatného hospodaření a dalších 200,000 km<sup>2</sup> zemědělské půdy je opuštěno v důsledku ztráty úrodnosti. Nedostatkem vody je postiženo 30–40% pevniny. Jedinou cestou jak zabránit dalšímu rozšiřování pouští a polopouští je obnova klimatické schopnosti krajiny.

## LITERATURA

- /1/ Anonymous 2001. Dokumentace k programu revitalizace říčních systémů. Ministerstvo životního prostředí.
- /2/ Veselý, D. 2012. *Ústní sdělení*.
- /3/ Schlesinger, W. H. (1997). *Biochemistry: An Analysis of Global Change*. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, San Diego, 588 pp.
- /4/ Jenkinson, D. S. & J. H. Rayner (1977). The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* 123:298-305.
- /5/ Pokorný, J., Květ, J. & K. Čerovská (2002): The role of wetlands in energy and material flows in the landscape. In: Květ, J., Jeník, J. & L. Soukupová (eds.). *Freshwater wetlands and their sustainable future*, p. 97-124, Paris and Boca Raton.
- /6/ Pokorný, J., Květ, J., Eiseltová, M., Rejmánková, E. & D. Dykyjová (2002b): Role of macrophytes and filamentous algae in fishponds. In: Květ, J., Jeník, J. & L. Soukupová (eds.). *Freshwater wetlands and their sustainable future*, p. 445-462, Paris and Boca Raton.
- /7/ Eiseltová, M. (ed). (2010). *Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe: Principles and Case Studies*. Wetlands: Ecology, Conservation and Management, vol 3, Springer Science+Business Media, 374pp.
- /8/ Pokorný, J., Brom, J., Čermák, J., Hesslerová, P., Huryna, H., Nadezhdina, N., & A. Rejšková (2010). Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *Int. J. Water*, Vol. 5, No 4, p. 311 – 336.
- /9/ Monteith, J. L. (1975). *Vegetation and Atmosphere*, Academic Press, London.

- /10/ Ryszkowski, L. & A. Kedziora (1987). Impact of agricultural landscape structure on energy flow and water cycling. *Landscape Ecology*, Vol. 1, No. 2, pp. 85-94.
- /11/ Kučerová, A., Pokorný, J., Radoux, M., Němcová, M., Cadelli, D. & J. Dušek (2001). Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species. In: Vymazal, J. (Ed.): *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands*, Backhuys, Leiden, pp. 413-427.
- /12/ Makarieva, A. M. & V. G. Gorshkov (2010). The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *Int. J. Water*, Vol. 5, No 4, p. 365 – 385.
- /13/ Hesslerová P. & J. Pokorný (2010). Forest clearing, water loss, and land surface heating as development costs. *Int. J. Water*, Vol. 5, No 4, p. 401-418.
- /14/ Ripl, W. (1992). Management of Water Cycle: An Approach to Urban Ecology. *Water Pollution Journal Canada*, Vol. 27, No. 2, p. 221-237.
- /15/ Ripl, W. (1995). Management of water cycle and energy flow for ecosystem control: the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological Modelling*, Vol. 78, No. 1-2, p. 61-76.
- /16/ Ripl, W. (2010). Losing fertile matter to the sea: How landscape entropy affects climate. *Int. J. Water*, Vol. 5, No. 4, p. 353-364.
- /17/ Ripl, W. & M. Eiseltová (2009). Sustainable land management by restoration of short water cycles and prevention of irreversible matter losses from topsoils. *Plant Soil Environ.*, Vol. 55, No. 9, p. 404-410.
- /18/ Eiseltová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P. & W. Ripl (2012). Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability. In: Irmak, A. (ed.) *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*. InTech, p. 305-328. Available from: <http://www.intechopen.com/books/evapotranspiration-remote-sensing-and-modeling/evapotranspiration-a-driving-force-in-landscape-sustainability>
- /19/ Millennium Environmental Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*, World Resources Institute, Washington DC.

## **BOTANICKÁ DIVERSITA OVOCNÝCH DRUHŮ LONICERA (*LONICERA EDULIS* TURCZ.) A JEJICH STANOVIŠŤ NA DÁLNÉM VÝCHODĚ**

### ***BOTANICAL DIVERSITY OF HONEYSUCKLE FRUIT SPECIES (*LONICERA EDULIS* TURCZ.) AND THEIR LOCALITIES IN THE FAR EAST***

Vojtěch Holubec<sup>1</sup>, Tamara Smekalova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Genová banka, 161 06 Praha 6 Ruzyně 507;

e-mail: holubec@vurv.cz

<sup>2</sup> VIR Sankt Peterburg, Rusko

#### **Summary**

*Lonicera kamtschatica* and *L. edulis* from the aggregate *L. caerulea* L. s.l. is very promising fruit and its sweet-fruit cultivars and wild genetic resources are important for breeding. A research expedition was undertaken to the southern area of distribution of sweet-fruited honeysuckles to the Sakhalin Island in 2011. Found localities were characterised ecologically and from the point of vegetation, phytosociological relevés were noted and threat factors were assessed as prerequisite for *in situ* conservation planning. Selection of the most promising materials for fruits was done within populations and generative and vegetative material was sampled for further use in taxonomic research and breeding.

*Key words:* honeysuckle, genetic resources, fruits, conservation, *in situ*, threat

#### **Souhrn**

*Lonicera kamtschatica* a *L. edulis* z agregátu *L. caerulea* L. s.l. je velmi perspektivní ovoce a jeho sladkoplodé odrůdy i plané genetické zdroje jsou významné pro šlechtění. V letech 2011 a 2012 byly podniknuty výzkumné expedice do jižní části areálu výskytu sladkoplodých zimolezů, na ostrov Sachalin. Nalezené lokality byly charakterizovány ekologicky a vegetačně, byly zapsány fytocenologické snímky a porovnány, dále byly posouzeny faktory ohrožení nezbytné pro plánování *in situ* konzervace. V rámci populací byla provedena selekce perspektivních materiálů pro ovocné využití, byly provedeny odběry generativního i vegetativního materiálu pro další výzkum a šlechtění.

*Klíčová slova:* zimolez, genetické zdroje, ovoce, konzervace, *in situ*, ohrožení

#### **ÚVOD**

Dálný východ představuje významný reservoir mnoha druhů drobného ovoce, z nichž 3 druhy jsou ekonomicky velmi významné, jsou běžně sbírány domorodci a prodávány na trhu. Největší podíl má brusnice klapovka (*Vaccinium praestans*), dále zimolez (*Lonicera edulis*), borůvka (*Vaccinium ovalifolium*). Modroplodý zimolez (*Lonicera edulis*) je chuťově blízký borůvkám a v našich podmínkách představuje neranější ovoce zrající před jahodami. Nutričně patří mezi nejkvalitnější ovoce, užívané rovněž v léčitelství.

Modrý zimolez už popsal v předlinneovském období Clusius (1583). Linné uvedl popis *Lonicera caerulea* v Species Plantarum (1753). Monograf rodu *Lonicera* - Rehder /6/

ustanovil podsekcí *Caeruleae* Rehd. a zmínil, že zahrnuje možná jen jediný, ale polymorfní druh *Lonicera caerulea* L. s množstvím subspecií. Pojarkova ve Floře SSSR (1958) uvádí 4 známé druhy (*L. caerulea*, *L. altaica*, *L. pallasii*, *L. edulis*) a popisuje z území Svazu 6 dalších druhů subsekcí *Caerulea* (*L. stenantha*, *L. bushiorum*, *L. baltica*, *L. turczaninowii*, *L. kamtschatica* a *L. iliensis*). Svorcov a Kuklina /7/ konstatují, že lze vyčlenit jen 2 druhy v subsekcí *Caerulea* a to *L. caerulea* a *L. iliensis* a ostatní lze považovat za variabilitu v rámci polymorfního druhu, nebo uvažovat je jen na úrovni subspecifické. V rámci druhu *L. caerulea* lze nalézt sladkoplodé mutace, které byly již využity jako ovocné kultivary především v Rusku. Výhradně sladkoplodé druhy se nacházejí jen na Dálném Východě na poloostrově Kamčatka, na Sachalinu a Kurilských ostrovech /1, 4, 8/ jsou to druhy *L. edulis* a *L. kamtschatica*. Vzhledem k tomu, že zimolez je významné perspektivní ovoce s velkým šlechtitelským potenciálem, je žádoucí provádět výzkum genetických zdrojů, z hlediska morfologie, obsahového složení, kvality plodů a v neposlední řadě i konzervace genofundu *in situ*. Je nutné zajistit spolehlivé rozlišení druhů v rámci agregátu *Lonicera caerulea*, neboť řada kvalitativních znaků je vázána právě na tyto druhy. Projekt zahraniční spolupráce Kontakt „Taxonomické, evoluční a fytochemické otázky komplexu *Lonicera kamtschatica/coerulea* jako genetického zdroje nového ovoce a potřeby jeho *in situ* konzervace“ řeší tuto problematiku s cílem přijmout nebo vyvrátit hypotézu o právoplatnosti malých druhů. V prvním roce řešení byla podniknuta výzkumná expedice do jižní části areálu výskytu sladkoplodých zimolezů, na ostrov Sachalin.

## MATERIÁL A METODA

Z herbářových (VIR a LE) a literárních údajů byly získány informace o výskytu *Lonicera edulis*. Ruská strana naplánovala trasu expedice a zajistila dopravu a pobyt. Expedice proběhly v jižní polovině ostrova v termínu 17-26.8.2011 a 3.-13.8.2012. Načasování bylo stanoveno podle zralosti plodů na Kamčatce, zde však termín padnul až na konec plodnosti. Východiskem bylo hlavní město ostrova Južno-Sachalinsk. Trasa zahrnovala očekávané lokality a místa doporučená místními obyvateli. Jednotlivé lokality s výskytem zimolezu byly zaměřeny přístrojem GPS. Každá lokalita byla charakterizována z hlediska přírodních podmínek a vegetace. Na vybrané reprezentativní ploše 4x4 m byly zapsány fytoecologické snímky při užití Braun-Blanquetovy kombinované stupnice abundance/dominance /5/. Dále byla zaznamenána velikost a hustota populace zimolezu, ohroženost a faktory možného ohrožení.

Z každé lokality/populace bylo vybráno 5-13 keřů podle kvality přítomných plodů, byly odebrány herbářové položky, řízky a případně kořenové výmladky. U těchto rostlin byla zaznamenána biometrická data (morfologické znaky: tvar trsu, velikost listů, tvar a velikost plodů, organoleptické znaky: hořkost, kyselost, sladkost). Organoleptické znaky byly stanoveny podle posledních přítomných plodů a jsou jen orientační.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### Lokality zimolezu (*Lonicera edulis*) na Sachalinu a ekologická charakteristika

#### Lopatino, lokalita č. 2.

Habitat: údolí potoka v nad osadou Lopatino od pobřeží Ochotského moře, JZ Sachalin

Ekologie: vysokostébelná údolní louka v blízkosti zaniklé usedlosti, periodicky vlhká, ale ne podmaččená. Geologie: Hnědá půda na břidlicích. Inklinace: 3°Z

Lat. N46°34'51,4", Lon. E141°50'11,6", Alt. 20 m, Datum: 19.08.2011

Hojnost výskytu zimolezu: jeden keř, pravděpodobně vysazen. Charakteristika rostlin: velký keř, vzpřímený, 120 cm výšky, listy velké, temně zelené s antokyany, plody oválné, ve stádiu po odplození, několik plodů zůstalo na keři, scvrklé.

**Parusnoe, lokalita č. 9.**

Habitat: 2 km j od Krasnogorsku, Z pobřeží ostrova Sachalin

Ekologie: písečné přesypy, částečně zpevněné ostrůvkovým řídkým lesem a křovinnou vegetací. Stanoviště zimolezu na okraji lesa. Vegetace: mechovo-lišejníková tundra s roztroušenými keři jalovce - *Juniperus sibirica*. V zářezech řídký les *Abies sachalinensis*.

Geologie: Písčité duny na okraji lesa překryté organickým opadem. Inklinace: 10°V

Lat. N48°22'09,9", Lon. E142°07'12,6", Alt. 17 m. Datum: 20.08.2011

Hojnost výskytu zimolezu: malá populace zimolezů na okraji lesa a tundry, v zástínu.

Charakteristika rostlin: Keře plazivé až vystoupavé 20-40 cm vysoké, po hlavním odplození, nalezeno několik plodů na některých keřích.

**Pervomajskoe, lokalita č. 16.**

Habitat: Z od Pervomajskoe, 300 m podél silnice směr Gomon, střední Sachalin

Ekologie: otevřený smíšený les s převahou *Abies sachalinensis*, podmaččený, s tůnkami

Geologie: organická lesní půda na štěrkových náplavech. Inklinace: 0° široké ploché údolí

Lat. N49°55'41,3", Lon. E143°16'34,3", Alt. 176 m. Datum: 24.08.2011

Hojnost výskytu zimolezu: roztroušené keře v podrostu lesa spolu s červenoplodými druhy *Lonicera sachalinensis*. Charakteristika rostlin: polovzpřímené keře 50-70 cm, po hlavní plodnosti s přetrvávajícími ojedinělými plody

**Pervomajskoe, lokalita č. 17.**

Habitat: Z od Pervomajskoe, 500 m podél silnice směr Gomon, střední Sachalin

Ekologie: vlhká křovinatá paseka v otevřeném smíšeném lese s převahou *Abies sachalinensis*

Vegetace: pestré křoviny s bohatým lučním porostem, s vyšším zastoupením lučních dvouděložných

Geologie: organická lesní půda na štěrkových náplavech. Inklinace: 0° široké ploché údolí

Lat. N49°56'08,1", Lon. E143°18'03,1", Alt. 201 m. Datum: 24.08.2011

Hojnost výskytu zimolezu: dominující výskyt zimolezu v rámci přítomných křovin

Charakteristika rostlin: polovzpřímené keře 50-90 cm, po hlavní plodnosti s přetrvávajícími ojedinělými plody

**Pervomajskoe, lokalita č. 6/12.**

Habitat: Z od Pervomajskoe, 2 km podél silnice směr Gomon, střední Sachalin

Ekologie: křovinatá louka. Vegetace: mozaika hustých křovin na ostřicové louce s vyšším zastoupením vysokých lučních dvouděložných

Geologie: organominerální půda na štěrkových náplavech řeky. Inklinace: 0° ploché údolí

Lat. N49°56'03,6", Lon. E143°17'59,9", Alt. 190 m. Datum: 12.08.2012

Hojnost výskytu zimolezu: dominující výskyt zimolezu v rámci přítomných křovin

Charakteristika rostlin: polovzpřímené keře 80-150 cm, po hlavní plodnosti s přetrvávajícími ojedinělými plody

#### **Beregovoe, lokalita č. 18.**

Habitat: 3 km SV od pobřeží jezera Busse, v povodí říčky Šiškevič, J Sachalin

Ekologie: křovinatá svahová paseka na okraji lesa *Abies sachalinensis*, Vegetace: mechovo-sphagnová vlhkomilná vegetace s plazivými a nízké křovinami s podílem vřesovištních druhů. Geologie: organická lesní půda na štěrkopískách. Inklinace: 8° JZ, Lat. N46°36'47,0", Lon. E143°20'32,0", Alt. 20 m. Datum: 25.08.2011

Hojnost výskytu zimolezu: hojný výskyt zimolezu na lokalitě asi 100x100 m. Charakteristika rostlin: polovzpřímené keře 30-60 cm, po hlavní plodnosti, přetrvávají jednotlivé plody.

#### **Fytocenologické snímky**

Na lokalitě Lopatino byl nalezen pouze jeden keř a je podezření, že byl zde původně vysazen, neboť nedaleko byly známky rozpadlého plotu. Lokalita proto nebyla snímkována. Lokalita č. 9 Parusnoe (Tab. 1) představuje staré písečné duny zarostlé mozaikovitým lesem *Abies sachalinensis*, klečovitou *Pinus pumila* a tundru připomínajícími porosty šichy, brusinky, a plavuní s množstvím lišejníků. Přítomné keře *Lonicera edulis* byly plazivé až vystoupavé, do 40 cm výšky. Na snímku bylo zaznamenáno 16 druhů. Podobnou vřesovištní vegetaci měla i lokalita č. 18 Busse. Na rozdíl od lokality Parusnoe, zde byly organogenní rašelinné půdy. Na snímku bylo zapsáno 12 druhů.

Tab. 1: Fytocenologické snímky pěti lokalit *Lonicera edulis* v jižní a centrální části ostrova Sachalin.

| Etage | Species                         | 9/11 | 16/11 | 17/11 | 18/11 | 6/12 |
|-------|---------------------------------|------|-------|-------|-------|------|
| E3    | <i>Abies sachalinensis</i>      | 1    | 1     |       |       |      |
| E3    | <i>Larix sibirica</i>           |      | 1     |       |       |      |
| E2    | <i>Betula ermanii</i>           |      |       |       |       | 1    |
| E2    | <i>Crataegus jozana</i>         |      |       | 1     |       |      |
| E2    | <i>Larix laricina</i>           | 1    |       |       |       |      |
| E2    | <i>Padus racemosa</i>           |      | 1     | 2     |       |      |
| E2    | <i>Salix sp.</i>                |      | 1     |       |       |      |
| E1    | <i>Adenophora kurilensis</i>    | 1    |       |       |       |      |
| E1    | <i>Antennaria dioica</i>        | +    |       |       |       |      |
| E1    | <i>Carex sp.</i>                |      | 1     | 3     |       | 3    |
| E1    | <i>Carex sp.</i>                | +    |       | 3     | 2     |      |
| E1    | <i>Chamaerion angustifolium</i> |      | 1     | 3     | 2     | 1    |
| E1    | <i>Cirsium heterophyllum</i>    |      |       | +     |       |      |
| E1    | <i>Cornus suecica</i>           |      |       |       | 2     |      |
| E1    | <i>Diphysium alpinum</i>        |      |       |       | 1     |      |
| E1    | <i>Elymus fedtschenkoanus</i>   |      | +     | 1     |       |      |
| E1    | <i>Empetrum nigrum</i>          | 5    |       |       |       |      |
| E1    | <i>Filipendula kamtschatica</i> |      | 1     | 2     | 1     |      |



Tab. 1 pokračování: Fytocenologické snímky pěti lokalit *Lonicera edulis* v jižní a centrální části ostrova Sachalin.

|    |                               |          |          |          |          |          |
|----|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| E1 | <i>Gentiana triflora</i>      |          | +        | +        |          | 1        |
| E1 | <i>Geum fauriei</i>           |          |          | +        |          |          |
| E1 | <i>Heracleum dulce</i>        |          |          | 1        |          |          |
| E1 | <i>Ledum decumbens</i>        | +        |          |          |          |          |
| E1 | <i>Leymus mollis</i>          | 1        |          |          |          |          |
| E1 | <i>Linnaea borealis</i>       | +        |          |          |          |          |
| E1 | <b><i>Lonicera edulis</i></b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>3</b> |
| E1 | <i>Lonicera sachalinensis</i> |          | 1        | 1        | 2        | 1        |
| E1 | <i>Polemonium coeruleum</i>   |          |          | +        |          |          |
| E1 | <i>Pteridium aquilinum</i>    | 2        |          |          |          |          |
| E1 | <i>Rosa acicularis</i>        |          | 2        | 2        | 2        |          |
| E1 | <i>Senecio cannabifolius</i>  |          | +        | 1        |          |          |
| E1 | <i>Sorbus sambucifolia</i>    | 1        |          |          |          |          |
| E1 | <i>Spiraea</i> sp.            |          | 1        | 2        | 2        | 3        |
| E1 | <i>Thalictrum contortum</i>   |          | +        | +        |          |          |
| E1 | <i>Trientalis europaea</i>    | +        |          |          |          |          |
| E1 | <i>Trisetum</i> sp.           |          |          | 1        | 1        | +        |
| E1 | <i>Vaccinium praestans</i>    |          |          |          | 1        |          |
| E1 | <i>Vaccinium vitis.idaea</i>  | 2        |          |          | 2        |          |
| E1 | <i>Vicia</i> sp.              |          |          | +        |          | +        |
| E1 | <i>Viola biflora</i>          | +        |          |          |          |          |

Na lokalitách Pervomajskoe č. 16, 17 a 6/12 byla podobná vegetace, lokality se nacházely ve vzdálenosti do 5 km. Lokalita č. 16 byl polopřirozený, neudržovaný, podmáčený les s dominantní jedlí *Abies sachalinensis*. V keřovém patře byly roztroušené rostliny *Lonicera edulis* a *L. sachalinensis*. Ve sníženinách byly tůňky se stagnující vodou s vysokými ostřicemi. Lokalita byla druhově chudší, na ploše 4x4 m bylo zaznamenáno 15 druhů. Lokalita č. 17 představovala starou paseku s místně hustým keřovým porostem s dominantní *Lonicera edulis*. Křoviny střídaly porosty s vysokou bylinnou vegetací. Lokalita byla vlhká, ale ne podmáčená. Počet druhů byl vyšší, 20 druhů na ploše 4x4 m. Lokalita č. 6/12 představovala starou mokrou louku zarostlou vysokou keřovou vegetací s převažující *Lonicera edulis*, *L. sachalinensis* a *Spiraea* sp. V bylinném patře převažovala vysokostébelná ostřice.

Populace na lokalitách Pervomajskoe čítaly k tisícům jedinců, zatímco lokalita Busse okolo sta a Parusnoe do deseti jedinců zimolezu.

### Sběr materiálu

Během expedice byly sbírány zralé plody jako semenné položky, vegetativní části pro využití jako herbářové doklady, na rouby, řízky, *in vitro* množení a listy na molekulární analýzy. Bylo sebráno 32 vzorků zimolezu *Lonicera edulis*, a z dalších ovocných druhů 6 vzorků *Vaccinium hirtum* a *V. ovalifolium*, 2 *V. praestans*, 2 vzorky *Ribes* cf. *pallidiflorum* a 3 vzorky *Eleagnus multiflora*, celkem 45 ovocných druhů.

### Hodnocení rostlin v terénu

Na lokalitách v terénu byly vybírány rostliny pro odběr vegetativního vzorku na základě kvality a velikosti přítomných plodů a morfologických znaků plodů a keřů a pro zajištění různorodosti ve znacích. U těchto rostlin byly dle možností zapsány hodnoty znaků v terénu, zejména organoletické znaky. Pokud byly plody svrasklé, byl zaznamenán jen přibližný tvar a

nikoliv chuťové znaky. Délka a šířka listů byla měřena z odebraných větviček pro herbář na 6-10 listech po odběru.

Tab. 2: Hodnocení znaků vybraných keřů a plodů *Lonicera edulis* na 6 lokalitách na Sachalinu. (vr – vřetenovitý, ov – oválný, va – válcovitý, po – podlouhlý, ku – kulatý, sl – sladký, ky – kyselý, ho – nahořklý, bez hodnoty – nehodnoceno, plody svrasklé)

| Místo sběru | Číslo sběru | Délka listu (mm) | Šířka listu (mm) | Výška rostliny (cm) | Velikost plodu (mm) | Tvar plodu | Chuť: Kyseliny, cukry, hořké látky |
|-------------|-------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------|------------------------------------|
| 2           | 4           | 86               | 35               | 120                 | 14/8                | vr         | Ky-sl                              |
| 9           | 17          | 39               | 17               | 20                  | 16/8                | ov         | Ky-sl                              |
| 9           | 18          | 39               | 19               | 30                  | 15/11               | ov         | Ky-sl                              |
| 9           | 19          | 31               | 15               | 30                  | 14/10               | ov         | Ky-sl                              |
| 16          | 35          | 65               | 33               | 50                  | 18/12               | va         | Sl-ho                              |
| 16          | 36          | 58               | 29               | 60                  | 17/8                | po         | Sl-ky                              |
| 16          | 37          | 65               | 28               | 70                  | 16/9                | va         | Sl-ky                              |
| 16          | 38          | 71               | 28               | 60                  | 16/8                | va         | ky                                 |
| 16          | 39          | 66               | 31               | 50                  | 18/8                | va         | Sl-ky                              |
| 17          | 41          | 75               | 32               | 80                  | 18/11               | vr         | ky                                 |
| 17          | 42          | 55               | 22               | 80                  | 18/6                | vr         | Ky-sl                              |
| 17          | 43          | 40               | 18               | 80                  | 12/8                | ov         | Ky-sl                              |
| 17          | 44          | 62               | 26               | 80                  | 23/12               | va         | Ky-sl                              |
| 18          | 45          | 43               | 22               | 60                  | 14/10               | vr         | Ky-sl                              |
| 18          | 46          | 56               | 24               | 60                  | 15/12               | ku         | Ky-sl                              |
| 18          | 47          | 44               | 21               | 50                  | 12/10               | ov         | Ky-sl                              |
| 18          | 48          | 33               | 16               | 60                  | 13/10               | va         | Ky-sl                              |
| 18          | 49          | 55               | 25               | 60                  | -                   | -          |                                    |
| 18          | 50          | 54               | 22               | 60                  | 12/10               | ov         | Sl                                 |
| 6           | 1           | 39               | 17               | 70                  | -                   | ov         |                                    |
| 6           | 2           | 44               | 22               | 80                  | -                   | ov         |                                    |
| 6           | 3           | 43               | 24               | 100                 | 18/11               | vr         | Sl-ky                              |
| 6           | 4           | 44               | 19               | 90                  | -                   | va         |                                    |
| 6           | 5           | 37               | 22               | 70                  | 20/10               | va         | Sl-ky                              |
| 6           | 6           | 40               | 20               | 120                 | -                   | vr         |                                    |
| 6           | 7           | 42               | 16               | 100                 | 14/12               | ku         | ky                                 |
| 6           | 8           | 49               | 18               | 90                  | 17/10               | va         | Sl-ky                              |
| 6           | 9           | 55               | 23               | 80                  | 21/12               | va         | Sl-ky                              |
| 6           | 10          | 54               | 25               | 110                 | -                   | vr         |                                    |
| 6           | 11          | 40               | 17               | 90                  | 16/14               | ku         | ky                                 |
| 6           | 12          | 38               | 16               | 100                 | 22/11               | va         | Sl-ky                              |
| 6           | 13          | 53               | 23               | 80                  | 19/12               | vr         | Sl-ho                              |

Velikost rostliny a tvar trsu závisel na půdně- geologickém podkladu, zástinu a na dostupnosti vody. Keře v řídkém lesním porostu byly řídké s několika větvemi a středně vysoké. Keře na písčích a rašelinách byly shodně poléhavé až plazivé, většinou nízké. Největší keře byly na lokalitě Pervomaiskij. Hladina podzemní vody zde byla 20-50 cm hluboko. Zde byla také největší variabilita materiálu ve všech znacích. Rostliny s největšími plody byly nalezeny pouze

na lokalitě Pervomaiskij (20-23 mm délky). Na lokalitě Busse převažovaly keře s plody širšími a oválnými.

Z hlediska organoleptických znaků byla zjištěna velká variabilita na všech lokalitách. Většina testovaných plodů byla sladkokyselá, občas s mírně nahořklou chutí. Nebyly zjištěny plody jenom hořké, jako je tomu u *L. coerulea* v kontinentální Asii. Přítomnost nahořklých plodů na Sachalinu byla častá, na rozdíl od pouze nehořkých *L. camtschatica* na poloostrově Kamčatka.

### **Posouzení ohroženosti**

Přímé ohrožení lidskou činností, nehrozí, populace jsou v terénu, obvykle v lese, na kraji lesa, na pasekách. V době plodnosti jsou lokality navštěvovány nájezdy sběračů plodů pro prodej na trhu. Keře jsou poškozovány lámáním větví, zajižděním terénními auty. Další významné poškození je způsobováno medvědy, pro které plody jsou významnou sezónní potravní složkou.

Hlavním důvodem ohroženosti jsou malé populace a jejich fragmentace – roztroušené populace v lesním porostu a na holinách. Při málo početné populaci 5-10 jedinců dochází již při malém poškození ke genetickému driftu.

### **Doporučení pro konservaci**

*Lonicera* je velmi perspektivní ovoce a jeho odrůdy i plané genetické zdroje významné pro šlechtění je třeba zahrnout do agrobiodiversity. Konzervace agrobiodiversity je však celosvětově v počátcích, přestože *in situ* konzervace byla již zahrnuta do CBD a ITPGRFA (Maxted et al, 2012). Účastníci expedice měli k dispozici lokality z herbářových sběrů v herbářích VIR Sankt Petěrburg a Botanického ústavu Komarova (LE) a získali informace od místních obyvatel a sběračů plodů. Přesto se podařilo nalézt jen 5 populací a jeden ojedinělý výskyt. Nutno konstatovat, že rozšíření populací je velmi roztroušené a fragmentární. Zejména malé populace by měly být adekvátním způsobem chráněny. V první fázi by ochrana měla mít charakter zvyšování povědomí (*public awareness*) o významu těchto genetických zdrojů a zabránění poškozování lokalit jakoukoliv lidskou destruktivní činností. Výhledově by bylo třeba uvažovat vhodné formě *in situ* konzervace.

### **LITERATURA**

- /1/ Charkevič S.S. a Čerepanov S.K., 1981. Opredelitel rastenij Kamčatskoj oblasti. Moskva, Nauka, 411 s.
- /2/ Maxted N., Dulloo M.E., Ford-Lloyd B.V., Freese L., Iriondo J., Carvalho M.A.A.P. 2012. Agrobiodiversity Conservation, CABI UK, 365 p..
- /3/ Plechanova M.N. (1998) Žimolost' sinaja v sadu i pitomnike. Naučno popularnoje izdanie, Sankt Peterburg, 65 s.
- /4/ Položij A.V. et al. 1996. Flora Sibiri 12: 128-133.
- /5/ Prach K. Monitorování změn vegetace, metody a principy. Český ústav ochrany přírody, Praha, 1994, 69 s.
- /6/ Rehder A. (1903). Synopsis of the genus *Lonicera*. Ann. Rep. Missouri Bot. Gard. 14:27-232.
- /7/ Skvorcov A. K., Kuklina A.G. 2002. Golubye žimolosti. Nauka, Moskva 160 s.
- /8/ Vorobiev D.P., Vorošilov V.N., Gurzenkov N.N., Doronina J.A., Egorova E.M. Nečaeva T.I., Probatova N.S., Tolmačev A.I. a Černjaeva A.M.(1974) Opredelitel vyšších rastenij Sachalina i Kurilskich ostrovov. Nauka, Leningrad, 373 s.

### **Poděkování**

Tato práce vznikla při řešení projektu Kontakt Ministerstva školství č. LH11134.

## **PÔSOBENIE ABIOTICKÝCH STRESOROV NA RASTLINY A EKOSYSTÉMY**

### ***IMPACT OF ABIOTIC STRESSORS ON PLANTS AND ECOSYSTEMS***

Ján Kukla, Margita Kuklová

Ústav ekológie lesa vo Zvolene, Oddelenie ekológie pôdy a rastlín, Ľ. Štúra 2, 960 53 Zvolen,  
[kukla@savzv.sk](mailto:kukla@savzv.sk), [kuklova@savzv.sk](mailto:kuklova@savzv.sk)

#### ***Summary***

Plant growth and successional development of plant communities are inextricably linked with the variability of climate and soil characteristics of the site. Instability of ecological conditions has more negative impact on the prosperity of changed ecosystem communities, the adaptability of which is in comparison with the adaptability of natural ecosystem communities significantly lower.

*Key words: ecosystems, abiotic factors, extreme values, plants, stress*

#### ***Súhrn***

Rast rastlín a sukcesný vývoj rastlinných spoločenstiev sú nerozlučne spojené s variabilitou klimatických a pôdných charakteristík lokality. Instabilita ekologických podmienok máva negatívnejší dopad na prosperitu spoločenstiev zmenených ekosystémov, adaptabilita ktorých je v porovnaní s adaptabilitou spoločenstiev prírodných ekosystémov podstatne nižšia.

*Kľúčové slová: ekosystémy, abiotické faktory, extrémne hodnoty, rastliny, stres*

#### **ÚVOD**

Rastliny patria k najstarším a najvýznamnejším pozemským organizmom, ktoré za pomoci slnečnej energie najefektívnejšie premieňajú anorganické látky na látky organické. V ekosystéme sú primárnymi producentmi organickej hmoty, ktorá predstavuje trofickú základňu pre takmer všetky ostatné organizmy.

Rastliny ale nie sú na Zemi od nepamäti. Najstaršie fosílie ponášajúce sa na prokaryotické baktérie majú asi 2 miliardy rokov. Niektoré baktérie boli schopné absorbovať slnečnú energiu, čo viedlo k vzniku fotosyntézy. Prvé eukaryotické organizmy sa našli vo fosílnych vrstvách pochádzajúcich asi spred 1,3 – 1,5 miliárd rokov. Stimulom ich evolúcie boli, podobne ako v prípade prokaryotických organizmov, meniace sa biogeochemické podmienky prostredia. Asi pred 2,5 miliardami rokov sa následkom fotosyntetickej činnosti morských rastlinných organizmov začalo významne meniť chemické zloženie atmosféry. Vzrástol v nej obsah voľného kyslíka a zároveň sa vytvárala ozónová vrstva chrániaca organizmy pred škodlivými účinkami ultrafialového žiarenia. Prechod prvých primitívnych rastlín na pevninu sa uskutočnil v ordoviku, asi pred 470 miliónmi rokov /11/.

Tento prechod sa pravdepodobne uskutočnil od zelených rias, cez jednoduché machorasty až k „oobjíživelným“ cievnatým rastlinám, ktoré už majú vyvinuté vodivé pletivá, ako dôsledok adaptácie na súš. V neskorom devóne (pred ~375-360 miliónmi rokov) sa objavili nahosemenné rastliny, v kriede kvitnúce rastliny a svet rastlín, ako ho poznáme dnes, sa vytvoril asi pred 100 miliónmi rokov. Následkom rýchlejšieho zvetrávanie pevninských silikátov a fosilizácie odumretých organických látok sa obsah atmosférického CO<sub>2</sub> znížil až o 90 %.

## STRES A STRESOVÉ FAKTORY

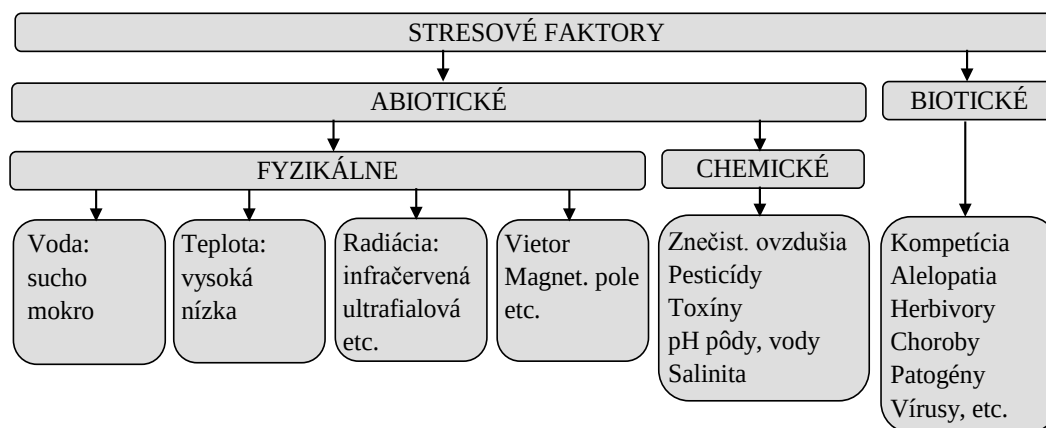
Rastliny nie sú v dôsledku prisadnutého spôsobu života chránené proti pôsobeniu faktorov vonkajšieho prostredia, ktoré môže vyústiť až do stresových stavov nepriaznivo ovplyvňujúcich ich rast a vývin.

Termín „stres“ poukazuje na mimoriadne nepriaznivé účinky environmentálnych faktorov na živé organizmy, v dôsledku ktorých môže dôjsť k rôznym fyziologickým zmenám. Je to nepredvídateľný výkyv alebo obmedzenie, ktoré ovplyvňuje normálny metabolizmus a spôsobuje zranenia, choroby alebo nenormálnu fyziológiu. Tento pojem možno definovať rôznymi spôsobmi, ale názory odborníkov sa zhodujú v tom, že by mal byť definovaný na základe fyziologických a ekologických požiadaviek organizmu v priebehu celého jeho životného cyklu /15/.

V botanike sa stres chápe ako stav organizmu zaťaženého mimoriadne nepriaznivými podmienkami okolitého prostredia, zatiaľ čo vo fyziológii rastlín ide v podstate o odpoveď organizmu na záťaž spôsobenú nepriaznivým prostredím. V biológii existujú dva základné koncepcie termínu „stres“. Prvá stres chápe v zmysle sily pôsobiacej na teleso (podobne ako v mechanike), teda ako faktor vonkajšieho prostredia, ktorý je v živom organizme schopný vyvolať škodlivý účinok /20/. Podľa druhej (biologickej) koncepcie je stres stav, v ktorom sa živý organizmus nachádza pri mobilizovaní reparačných alebo obranných procesov vyvolaných pôsobením vonkajšieho prostredia /19/.

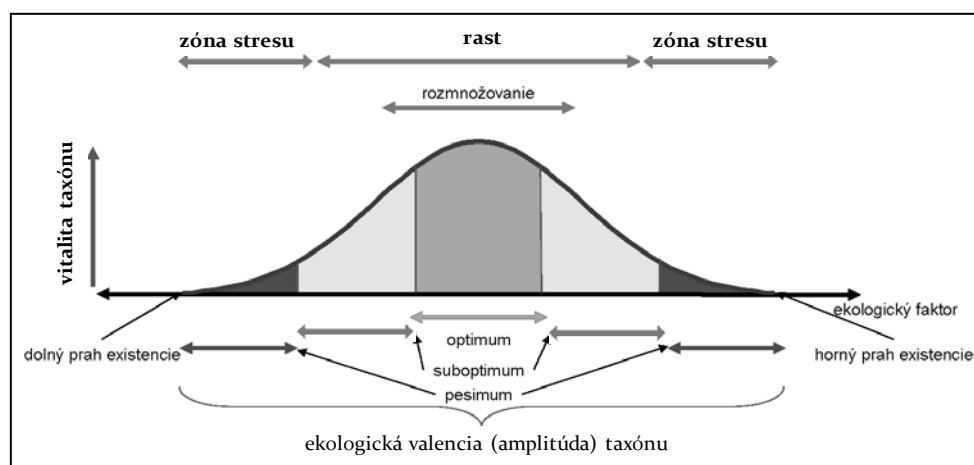
Stresové faktory predstavujú extrémne environmentálne podmienky, ktoré indukujú funkčné zmeny v rastlinách do takej miery, že sa v nich vyvinie stres, ktorý inhibuje ich rast, znižuje ich bioprodukciiu, fyziologickú aklimatizáciu, adaptáciu, alebo v dôsledku stresu dôjde ku kombinácii týchto zmien /23, 31/. Pôvod stresových faktorov môže byť abiotický alebo biotický. Abiotický stres môže mať povahu fyzikálnu (napr. intenzívne viditeľné a UV žiarenie, extrémne teploty, úder blesku, nadmieru utlačená pôda, pôsobenie vetra), alebo chemickú (nedostatok alebo nadbytok vody alebo iónov, nedostatok až absencia kyslíka na mokrých pôdach – hypoxia, anoxia), zatiaľ čo biotický stres môže byť spôsobený vírusmi, baktériami, hubovými ochoreniami a pod.

Stresových faktorov, ktoré môžu mať negatívny vplyv na rastliny je v skutočnosti veľmi mnoho. Ich systematizácia v zmysle /31/ and /23/ je prezentovaná na obrázku 1.



Obr. 1. Zdroje environmentálneho stresu /23, 31/.

Experimenty ukázali, že správanie sa rastlinného taxónu v prírode a v podmienkach kontrolovaného experimentu (napr. vo fytotróne) nie je rovnaké /38/. Je tomu tak preto, lebo v prírodných podmienkach nie sú taxóny vystavené len pôsobeniu abiotických faktorov (resp. stresorov), ale aj kompetičnému tlaku ostatných taxónov rastlinného spoločenstva. Rastové možnosti rastlinného druhu realizovateľné v podmienkach meniacej sa intenzity pôsobiaceho ekologického faktora sú prezentované na obr. 2.



Obr. 2. Rastové podmienky rastlinného taxónu s  $\pm$  zhodným fyziologickým a ekologickým (kompetične podmieneným) optimom.

V poľnohospodárstve sú najčastejšími stresujúcimi faktormi nedostatok a nadbytok vody, vysoká a nízka teplota, nízka relatívna vlhkosť, vysoká salinita pôdy, krupobitie, silný vietor, toxicita pesticídov a systémy pestovania.

## STRES A ODOLNOSŤ RASTLÍN

Rastliny reagujú na stres prostredníctvom rôznych mechanizmov a stratégií, ktoré im umožňujú prežiť v podmienkach extrémneho prostredia. Rozlišuje sa odolnosť voči stresu, schopnosť vyhnúť sa stresu a tolerancia voči stresu /19, 31/.

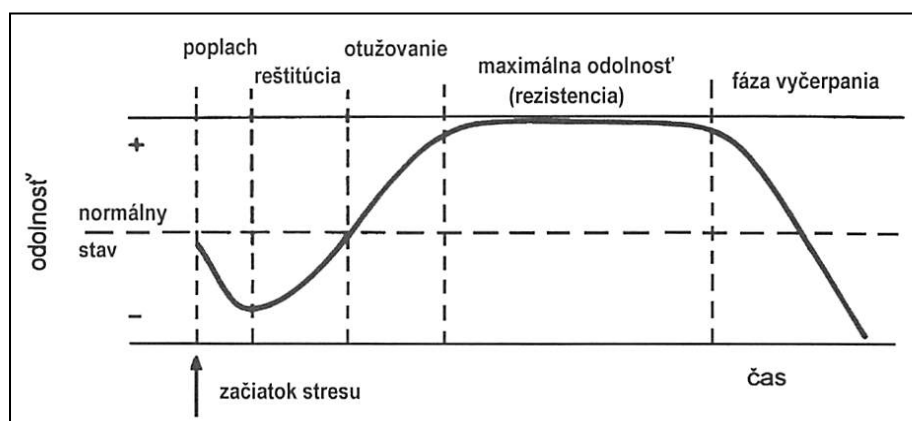
Odolnosť voči stresu je schopnosť vydržať pôsobenie externého napätia. Realizovať sa môže pasívne (vyhnutie sa), alebo aktívne (tolerancia). Vyhýbanie sa stresu možno chápať ako systém, ktorý bráni tomu, aby externe pôsobiaci stres pôsobil na rastliny. Tolerancie voči stresu je zasa schopnosť znášať vnútorný stres vyvolaný externým napätím, t.j. fyziologickú a biochemickú zmenu metabolizmu, ktorá znižuje intenzitu pôsobenia stresu na protoplast, alebo umožňuje opraviť poškodenie spôsobené stresom. Príkladom sú hlboko koreniace rastliny, ktoré nie sú citlivé na vysušanie vrchných pôdnych vrstiev, alebo xerofyty, ktoré majú xeromorfné adaptácie (hrúbka pokožky, ochlpenie, zapustené prieduchy, skrúcanie listov, atď.) spomaľujúce transpiráciu, v dôsledku čoho dokážu po dlhú dobu tolerovať pôsobenie suchého vzduchu. O niektorých produktoch metabolizmu sa predpokladá, že majú ochrannú funkciu. Asimilačné orgány ihličnatých a listnatých drevín sú napr. pokryté epikutikulárnou voskovou vrstvou, ktorá ich chráni proti mrazu /17/ a škodlivým účinkom atmosférických polutantov /14/.

Rastlinné organizmy majú proti pôsobeniu stresového faktora rôznu mieru rezistencie. Stresom je preto len taká odchýlka od optima, ktorá ohrozuje integritu rastlín. Ak hodnoty faktora vonkajšieho prostredia neprekračujú limitné hodnoty individuálne pre každý rastlinný taxón, nie je vývoj rastliny významne obmedzovaný. V prípade ich prekročenia nastáva stresová odpoveď rastliny, ktorá podľa /19/ pozostáva z viacerých fáz (obr. 3.).

Rastliny reagujú na stres najmä v závislosti od vývojového štádia, v ktorom sa práve nachádzajú. Reakcia rastlín na pôsobenie stresového faktora prechádza od poplachovej fázy k reštitučnej fáze, v priebehu ktorej dochádza k mobilizácii kompenzačných mechanizmov.

Syntézou stresových bielkovín, obnovou osmotickej rovnováhy a i. v priebehu aklimácie (prechodného zvýšenia odolnosti v rámci fenotypovej plasticity) získava rastlina maximálnu odolnosť (fáza rezistencie), ktorá v prípade dlhodobého pôsobenia stresujúceho faktora môže prejsť až do fázy vyčerpania. Spoločnými obrannými mechanizmami rastlín proti pôsobeniu stresových faktorov sú najčastejšie /19, 20, 27/:

- syntéza stresových proteínov
- tvorba a odstraňovanie reaktívnych foriem kyslíka
- zmeny hladiny hormónov (ABA, etylén, aminokyseliny, polyalkoholy)
- príjem, alebo syntéza osmoregulačných zlúčenín (soli, cukry, aminokyseliny, polyalkoholy)
- syntéza zlúčenín znižujúcich bod mrazu vody (napr. glycerol)
- syntézu zlúčenín odstraňujúcich toxické látky (napr. organické kyseliny vyzrážajú Al)



Obr. 3. Idealizovaný priebeh stresovej odpovede /19/.

V tabuľke 1 sú prezentované spôsoby reagovania rastlín na pôsobenie stresových faktorov v zmysle /24/.

Tabuľka 1. Reakcie rastlín vystavených pôsobeniu stresových faktorov.

| Úroveň procesu      | Biochémia         |                                  | Fyziológia                       |                                  | Ekológia                         |                                   |
|---------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                     | Organela          | Bunka                            | Pletivo                          | Indivídium                       | Spoločenstvo                     | Ekosystém                         |
| Odpoveď v čase (s.) | 1–10 <sup>2</sup> | 10 <sup>2</sup> –10 <sup>4</sup> | 10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup> | 10 <sup>6</sup> –10 <sup>7</sup> | 10 <sup>7</sup> –10 <sup>8</sup> | 10 <sup>8</sup> –10 <sup>10</sup> |
| Trvanie v čase      | sekundy           | hodiny                           | týždne                           | mesiace                          | roky                             | storočia                          |
| Priestor            | mikróny           | milimetre                        |                                  | metre                            |                                  | kilometre                         |

## ODOZVA RASTLÍN NA EXTRÉMNY NEDOSTATOK ALEBO NADBYTOK VODY

Nízka dostupnosť vody je považovaná za hlavný enviromentálny faktor limitujúci rast rastlín i tvorbu úrody /10/. Typické symptómy vodného stresu zahŕňajú zatváranie prieduchov, inhibíciu fotosyntézy, ale aj desikáciu a starnutie listov, obmedzenie rastu, či odumieranie koreňov. Fyziologické poškodenie spôsobené vodným stresom je úzko spojené s hladinou a rovnováhou endogénnych hormónov. Syntéza a transport cytokinínov sú zvyčajne inhibované a počas vodného stresu dochádza aj k ich degradácii. Starnutie listov je pri mnohých druhoch tiež spojené s nízkym obsahom cytokinínov /22/.

Hlavná príčina inhibície fotosyntézy spočíva v redukovanej difúzii CO<sub>2</sub> z atmosféry na miesto karboxylácie, ako výsledok zatvárania prieduchov a zníženej mezofylovej vodivosti. Ukázalo sa, že vodný stres znižuje aj metabolizmus a hlavne aktivitu enzýmu Rubisco /10/. Zatváranie prieduchov spolu s inhibíciou rastu listu sú prvými odpoveďami na suchu, ochraňujúc tak rastlinu od rozsiahlej straty vody, ktorá by mohla vyústiť k dehydratácii bunky, nekontrolovateľnej kavitácii xylému, až k smrti.

Zníženie vodivosti prieduchov vznikajúce okolo poludnia je regulačnou odpoveďou na kontrolovanie straty vody dokonca aj pri neobmedzujúcom množstve dostupnosti pôdnej vody. Vplýva tiež na optimalizáciu príjmu uhlíka. Intenzita tohto poklesu sa mení v závislosti od vlhkosti vzduchu, teploty a vodného stavu rastliny. Úbytok plochy prieduchov je sprevádzaný inhibíciou rastu nových listov, v prípade dlhšie trvajúceho stresu rýchlejšim

stárnutím listov. Spolu s dehydratáciou dochádza často aj k zmene uhlu postavenia listov, čo znižuje množstvo zachyteného slnečného žiarenie. Zároveň rastlina znižuje aj asimiláciu uhlíka, ale táto zmena má dôležitú ochrannú úlohu proti prebytku solárnej energie /26/.

V dôsledku straty vody z buniek a pletív klesá vodný potenciál listov k hranici 0,8 MPa, ktorá už prestáva byť pre bežné mezofytne druhy rastlín znesiteľná. Zníženie vodného potenciálu pod hodnotu 1,5 MPa spôsobuje veľmi silný stres, ktorý je sprevádzaný poklesom turgoru v bunkách rastlín a vädnutím listov. Ešte predtým sa zastavuje dĺžkový rast buniek, klesá účinnosť fotosyntézy, asimilácie nitrátov, zvyšuje sa podiel stresových proteínov (najmä dehydrínov) v bunkách a i. Tvorba dehydrínov je indukovaná výrazným vzostupom koncentrácie kyseliny abscisovej v listoch, a to už pri miernom poklese vodného potenciálu buniek.

Účinnou adaptáciou na suchu je aj syntéza prolínu a ďalších osmoticky aktívnych látok (cukrov, polyalkoholov, betaínu), čím sa v bunkách zvyšuje osmotický tlak. Mechanizmus osmotického prispôsobovania sa využívajú najmä druhy tolerantné voči suchu, často i druhy rastúce na zasolených pôdach. Suchu sa rastliny vyhýbajú aj tým, že obmedzujú stratu vody vznikajúcu v dôsledku transpirácie (zatváranie prieduchov, otáčanie, alebo zhadzovanie listov a pod.) a efektívnejšie využívajú dostupné zásoby vody. Tretiu stratégiu využívajú stepné efeméry s krátkym životným cyklom, ktoré majú k dispozícii len zásobu vody z topiaceho sa snehu. Suchu sa vyhýbajú tak, že ešte pred začiatkom viac-menej periodicky sa opakujúcich suchých období ukončujú svoj životný cyklus /5/.

Predchádzajúce vystavenie rastlín stresu zo sucha môže neskôr urýchliť alebo zosilniť ich reakcie na suchu, čo naznačuje, že rastliny majú „stresovú pamäť“ /6/. Vodný deficit ovplyvňuje biosyntézu, akumuláciu a redistribúciu hlavných rastlinných hormónov. Prispôbenie sa suchu je spojené aj so zvýšenou aktivitou antioxidantov /16/. Na periodicky dlhodobý nedostatok vlhky sa rastliny prispôbili buď vytváraním zásob vody a jej obmedzeným výdajom v čase sucha (sukulenty), alebo stratou značného podielu vody a prechodu do latentného stavu anabiózy. Lišajníky a sinice môžu pritom stratiť až 95% vody. V období mimoriadneho sucha predčasne žltne, uschýna a opadáva časť asimilačných orgánov drevín. V biome opadavých lesov, ktorý je charakteristický pre suché trópy a subtropy sa stromy pred nástupom periodicky sa opakujúcich suchých období úplne zbavujú asimilačných orgánov.

Pri nadbytku pôdnej vody trpia korene rastlín nedostatkom kyslíka – hypoxiou, alebo v určitých prípadoch aj úplnou absenciou kyslíka – anoxiou. Hypoxia znižuje rýchlosť fotosyntézy (v dôsledku poklesu obsahu chlorofylov a karotenoidov) a môže viesť aj k inhibícii fotosyntézy (buď v dôsledku inhibície transportu asimilátov alebo v dôsledku nahromadenia asimilátov v listoch). K vzniku hypoxie môže prispieť aj nepriaznivá štruktúra ílovitých pôd a zastúpenie a aktivita mikroorganizmov. Inhibícia citrátového cyklu a prechod na anaeróbny metabolizmus výrazne znižuje energetickú účinnosť metabolizmu a rýchlo vedie k vyčerpaniu rastlinného organizmu. V bunke sa hromadia produkty anaeróbneho metabolizmu (etanol, kyselina mliečna) a v koreňových bunkách dochádza aj k indukcii stresových proteínov /5, 27/.

V dôsledku veľkej premenlivosti pôdnej a vzdušnej vlhkosti vzniklo mnoho ekologických adaptácií, ktoré sú súčasne funkčné, morfologické i anatomické. Tieto adaptácie sa dotýkajú nielen príjmu a výdaja vody, ale aj závislosti fyziologických funkcií od obsahu vody v rastline. V prípade rastlín žijúcich na trvale mokrých pôdach sa napr. vytvárajú špecifické adaptácie, tzv. „vzdušné“ korene, ktoré rastú negatívne geotropicky z pôdy do vzduchu, alebo „barlovité korene“, ktoré sú trvale nad povrchom pôdy, alebo sa v stonkách i koreňoch niektorých druhov tvoria tzv. aerenchymatické pletivá. Iné rastlinné druhy sa prebytočnej vody zbavujú gutáciou.



## **ODOZVA RASTLÍN NA EXTRÉMNY NEDOSTATOK ALEBO NADBYTOK IÓNOV**

Pôda je základný substrát z ktorého rastliny získavajú spolu s vodou aj živiny. Množstvo živín, ktoré majú rastliny k dispozícii závisí najmä od trofického charakteru pôdy, klimatických pomerov regiónu, vývoja počasia a v prípade pestovaných plodín aj od agrotechnických opatrení.

V priebehu evolúcie sa niektoré rastliny čiastočne alebo úplne adaptovali na kyslé pôdy, iné na alkalické pôdy, kde ich kompetičný tlak ostatných druhov neohrozuje. Negatívnym faktorom kyslých pôd je najmä zvýšená koncentrácia  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  a  $Mn^{2+}$  iónov, ktoré môžu mať na korene rastlín toxický vplyv, nižšie koncentrácie  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mo^{2+}$ ,  $NO_3^-$  a  $PO_4^{3-}$  iónov a inhibícia príjmu vody. Inhibícia rastu je je spravidla zapríčinená fyto toxicitou hliníka.

Limitujúcim faktorom karbonátových pôd s mierne alkalickou reakciou (pH 7,2-8,5) je nedostatok Fe, Zn, P, príp. Mn, ktorý sa často kombinuje s deficitom vody. V alkalických (zasolených) pôdach je zasa zvýšený obsah ľahko rozpustných solí. V humídnych oblastiach chloridových, v arídnych zasa síranových, príp. uhličitanových. Zasolenie pôd sa voči rastlinám prejavuje osmotickým účinkom (silnou väzbou pôdnej vody, čím vzniká jav podobný suchu) a toxickým účinkom (najmä Na). Na uvedené prostredie sú najlepšie adaptované halofyty, ktoré v bunkách hromadia ióny sodíka a chlór, čím v nich udržujú osmotický tlak 10 – 20 MPa (osmotický tlak obyčajných rastlín je 0,5 – 1,0 MPa), čím umožňujú koreňom prijímať pôdny roztok. Niekedy dochádza aj k vylučovaniu solí na povrchu listov.

Jedným z mechanizmov pomocou ktorých sa rastliny prispôbujú nerovnováhe exogénnych zdrojov je, že alokujú fyto masu do orgánov, ktoré sa podieľajú na získavaní najvzácnejších látok /21/. V prípade nedostatku základných makroživín (N, P, K a Mg) sa často väčšia časť fyto masy nachádza v koreňovom systéme. Adaptačná odpoveď je dôsledkom metabolických zmien a v nasmerovaní transportu sacharidov z výhonkov do koreňov /13/.

Nedostatok N a P ovplyvňuje primárnu fotosyntézu, metabolizmus cukrov a/alebo distribúciu uhlíkovodíkov v zdrojových a akumulčných tkanivách /30,34/. Hoci sa v listoch rastlín, ktoré majú nedostatok K a Mg hromadia cukry, len málokedy dôjde k zvýšeniu ich koreňovej fyto masy. Ide pravdepodobne skôr o dôsledok poškodenia odsunu sacharózy z listov rastlín s nedostatkom K a Mg, ako o zmenu vo fotosyntéze /37/.

Rastliny aktivujú dva typy reakcií. Prvý spočíva vo vonkajšej koncentrácii iónov a zahŕňa miestne signály. Druhý závisí na minerálnom stave rastlín a zahŕňa diaľkovú signalizáciu. Keď majú rastliny nedostatok N, rast koreňov sa zrýchľuje a vzrastajúce vetvenie postranných koreňov ďalej zvyšuje zásobovaciu kapacitu koreňového systému /33/.

Nedostatok K vedie k hromadeniu sacharidov v listoch ako molekuly náhradné osmotických /7/. Ale nedostatok K (na rozdiel od nedostatku N a P) zriedka vyústi do akumulácie škrobu. Pokles fotosyntézy pozorovaný v rastlinách s nedostatočným obsahom K by mohol byť dôsledkom akumulácie sacharózy /3/. Uvedená hypotéza je konzistentná s transkripčným profilom listov rastlín trpiacich nedostatkom K /12/.

## **ODOZVA RASTLÍN NA NADMERNÉ ZNEČISTENIE PROSTREDIA**

Zemská atmosféra je neustále znečisťovaná prašnými a plynými emisiami pochádzajúcimi prirodzených zdrojov, ale najmä z energetiky, priemyslu, dopravy, poľnohospodárstva, zo zneškodňovania odpadov a s produktami ich premien ( $CO_2$ , CO,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $O_3$ , VOC, PAU, PCDD, PCDF, ťažké kovy a i.). Zvlášť nebezpečné sú halogenidy vodíka (HCl, HF) a peroxiacetylnitrát vznikajúci v dôsledku silného žiarenia z výfukových plynov áut a produktov priemyselného spaľovania.

Reakciou najmä oxidov dusíka a síry s vodnými parami vznikajúce kyslé zrážky narušajú kutikulu asimilačných orgánov rastlín a vymývajú z nich živiny. Zároveň pôsobia na

pôdu, urýchľujú zvetrávanie primárnych minerálov a vymývajú z pôdy bázické katióny. V prípade výraznejšieho poklesu hodnôt pôdnej reakcie môže dôjsť k uvoľňovaniu toxických elementov, predovšetkým hliníka, ktorý poškodzuje korene rastlín. Kombinované účinky kyslých zrážok sa prejavujú v zhoršenom zdravotnom stave vegetácie, najmä ihličnatých lesov, ktoré ľahko podliehajú pôsobeniu biotických škodlivých činiteľov.

S výrobou a spotrebou energie súvisí aj produkcia tzv. skleníkových plynov ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , PCB), ktoré zachytávajú infračervené žiarenie Zeme a vyžarujú ho späť k zemskému povrchu, čím prispievajú k zvyšovaniu teploty atmosféry. Ozón oxiduje v rastlinných bunkách bielkoviny a lipidy, čím poškodzuje membránové systémy chloroplastov, a po viachodinovom pôsobení aj vakuolárnu membránu. Pre rastliny je v dôsledku synergického efektu zvlášť nebezpečná kombinácia ozónu s oxidmi dusíka ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) a s  $\text{SO}_2$  /19/.

Znečistené ovzdušie poškodzuje nadzemné orgány rastlín priamo, alebo nepriamo ovplyvňuje metabolizmus rastlín prostredníctvom znečistenej pôdy a vody. V reakcii na znečisťovanie ovzdušia vyvíjajú rastliny nešpecifické fyziologicko-biochemické reakcie spojené s anatomickými, morfológickými, rastovými a produkčnými zmenami /18, 31/. Počiatočné fázy reakcií zahŕňajú poškodenie bunkových membrán, zmeny v enzymatických procesoch, a následné odchýlky v bunkových štruktúrach a v metabolizme. Rozsah a charakter biochemických reakcií a zmien v rastlinách poukazuje na ich rezistenciu voči stresoru a perspektívu ich ďalšieho vývoja.

Ak rastlina dokáže opraviť alebo kompenzovať účinky stresu a množstvo energie použité na opravu a údržbu hladiny metabolizmu je malé, obnoví sa postupne jej metabolická homeostáza. V prípade poškodenia metabolizmu rastliny selekcia uprednostní genotypy s menej destabilizovaným metabolizmom, v dôsledku čoho dôjde ku genetickej zmene zloženia populácie /8/. Prílišná citlivosť rastlinného druhu voči stresorom môže byť buď príčinou jeho vyhynutia, alebo môže spôsobiť zmeny v zložení rastlinných spoločenstiev.

Príznaky stresu zo znečisteného prostredia možno zoskupiť do nasledujúcich kategórií a využiť pre účely bioindikácie:

- neviditeľné poškodenia, fyziologické a biochemické reakcie (napr. zmeny v biomembránach, v aktivitách enzýmov, atď.)
- viditeľné poškodenia častí rastlín (nekróza, chloróza, atď.)
- retardovaný rast, vývoj a reprodukcia
- floristické zmeny na úrovni populácie
- cenologické zmeny v ekosystémoch /8, 31/

Niektoré druhy, tzv. koreňové akumulátory a hyperakumulátory, si vyvinuli stratégie na prežitie aj vo vysoko toxickom prostredí, v ktorom sú schopné tolerovať stres vyvolaný ťažkými kovmi. Stratégia koreňových akumulátorov spočíva v schopnosti obmedziť príjem ťažkých kovov, alebo ich transport z koreňa do nadzemných orgánov /1/, zatiaľ čo stratégia hyperakumulátorov je založená na schopnosti akumulovať veľké množstvá ťažkých kovov. Akumulátory dokážu v listovej šťave tolerovať až 5 000 mg  $\text{Al.l}^{-1}$ , zatiaľ čo rastliny vyhýbajúce sa stresu obsahujú za rovnakých podmienok len 10-50 mg  $\text{Al.l}^{-1}$ . Hyperakumulátory Mn a Zn sú schopné akumulovať  $>10 \text{ mg.g}^{-1}$  /28/, hyperakumulátory As, Co, Cu, Ni, Se a Pb  $>1 \text{ mg.g}^{-1}$  /2, 28/ a hyperakumulátory Cd  $> 0,1 \text{ mg.g}^{-1}$  /28/. Hyperakumulácia je ekofyziologická adaptácia rastlín na stres vyvolaný zvýšeným obsahom kovov v prostredí a jeden z prejavov rezistencie proti inak toxickej hladine kovov.

## ODOZVA RASTLÍN NA NEDOSTATOK ALEBO NADBYTOK SVETLA A TEPLA

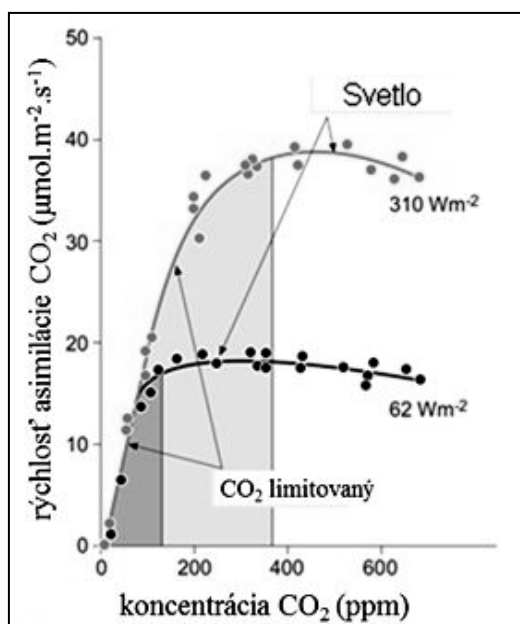
Svetlo je zdrojom energie, ktorá je pre rastliny nepostrádateľná. Využívajú len žiarenie v rozsahu vlnových dĺžok 400 až 700 nm (*FAR*), ktoré z celkového žiarenia tvorí asi 39-48 %. Listy premieňajú na chemickú energiu z *FAR* len 1-5 %, zvyšok sa odrazí a rozptýli.

Ultrafialová časť spektra je síce fotosysteticky užitočtateľná, ale v prípade vyššej intenzity je pre všetky organizmy škodlivá. Ultrafialové žiarenie brzdí činnosť rastových látok (auxinu), čo je jednou z príčin zakrpateného vzrastu vysokohorských rastlín a žiarivých farieb ich kvetov. Rastliny stredných polôh majú zasa hrubšie listy, vyššie palisádové bunky a sú viac zdrevnatené /39/.

Nároky rastlín na množstvo slnečného žiarenia (heliofyty, sciofyty) závisia od zvláštností pigmentového aparátu listov. Niektoré rastliny sú schopné vytvárať tienne a slnné listy, ktoré sa v prípade prudkej zmeny osvetlenia len s problémami adaptujú na nové svetelné podmienky, alebo nekrotizujú (vyschnutie pre poškodenie kutikuly, trhliny v epidermise). V extrémnych prípadoch môže dôjsť až k odumretiu celého jedinca, ako je tomu v prípade citlivejších ihličnatých drevín po odstránení hlavného porastu (tis), alebo jeho časti (jedľa). Na okraji ťaženého lesného porastu (na porastovej stene) sú okrem toho kmene stromov s tenkou kôrou prehrievané dopadajúcim slnečným žiarením, v dôsledku čoho dochádza k odumieraniu delivých pletív kambia a k opadávaní kôry („úpal“ kôry). V dôsledku rýchleho striedania nízkych a vysokých teplôt sú často poškodzované aj dreviny s hrubou kôrou (vznik mrazových líšt).

Každý rastlinný druh rastie iba v obmedzenom rozsahu teplôt, ktoré sú limitované jeho ekologickou konštitúciou. Teploty presahujúce uvedené rozpätie môžu v rastline vyvolať stres z vysokej teploty (letálne sú spravidla teploty 42-55 °C, v prípade sukulentov >65 °C), stres z chladu (suboptimálne teploty 0-10 °C), alebo stres z mrazu (teploty pod bodom mrazu).

Stupeň poškodenia je daný teplotou a dĺžkou jej pôsobenia. Poškodená je spravidla štruktúra jadierka, chloroplastov a cytoplazmy. Počas aklimatizácie na chlad sa jedna z rozhodujúcich zmien viaže na prednostnú syntézu fosfolipidov s vyšším podielom nenasýtených mastných kyselín. Pri veľmi rýchlom ochladzovaní (o viac ako 10 °C za minútu) dochádza k tvorbe kryštálikov ľadu vo vnútri protoplastu (intracelulárne), čo má za následok letálne poškodenie organizmu. Pri pomalšom poklese teploty sa kryštálíky ľadu tvoria extracelulárne, bunka je dehydrovaná, v dôsledku čoho sa stres z mrazu podobá na stres z nedostatku vody a zasolenia /20/.



Obr. 4. Limitácia fotosyntézy druhu *Sorghum sudanense* /9/.

Fotosyntéza je jedným z najviac na teplo senzitívnych procesov. Kritickým miestom je fotosystém II (PSII), ktorý poškodzuje teplota vyššia ako 45 °C /32/. Vysoké teploty sú často

sprevádzané vodným deficitom a zatváraním prieduchov s následným poklesom dostupnosti CO<sub>2</sub>. Difúzia CO<sub>2</sub> do listu a chloroplastov závisí priamo od teploty, prieduchovej kontroly a membránovej permeability. Mezofylová vodivosť je citlivá na teplotu a je kontrolovaná proteínmi /29/.

Rastliny takmer nikdy nerastú podmienkach optimálneho pôsobenia abiotických faktorov, ale nachádzajú sa vždy pod vplyvom menšieho alebo väčšieho stresu (obr. 4).

## LITERATÚRA

- /1/ Baker, A. M. J., 1981: Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, Volume 3, Issue 1-4,
- /2/ Brooks, R. R., Lee, J. *et al.*, 1977: Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration* 7, p. 49-77.
- /3/ Cakmak, I., Hengeler, C., Marschner, H., 1994: Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot.*, 45, p. 1245–1250.
- /4/ Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- /5/ Čiamporová, M., Mistrík, I., 1991: Rastlinná bunka v nepriaznivých podmienkach. Veda, SAV, Bratislava, 136 s.
- /6/ Ding, Y., Fromm, M. E., Avramova, Z., 2012: Multiple exposures to drought 'train' transcriptional responses in *Arabidopsis*. *Nature Communications* 3, doi:10.1038/ncomms1732.
- /7/ Epstein, E., Bloom, A.J., 2005: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives (2nd edn), Sinauer Associates).
- /8/ Ernst, W.H.O. 1993: Population dynamics, evolution and environment: adaptation to environmental stress. – Fowden, L., Mansfield, T., Stoddart, J. (eds.). *Plant Adaptation to Environmental Stress*. London, Chapman & Hall, p. 18–44.
- /9/ Fitter, A. H., Hay, R. K. M., 1987: Environmental Physiology of Plants. *Academic Press*, London.
- /10/ Flexas, J., Barón, M., Bota, J., Ducruet, J., Gallé, A., Galmés, J. - Jiménez, M. - Pou, A. - Ribas-Carbó, M., Sajani, C., Tomás, M., Medrano, H., 2009: Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* x *V. rupestris*). *Journal of Experimental Botany*, vol. 60, p. 2361-2377.
- /11/ Gensel, P.G., 2008: The earliest land plants. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39: 459–477.
- /12/ Hampton, C. R., Bowen, H. C., Broadley, M. R., Hammond, J. P., Mead, A., Payne, K. A., Pritchard, J., White, P. J., 2004: Cesium Toxicity in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 136 ( 3), p. 3824-3837.
- /13/ Hermans, Ch., Hammond, J. P., White, P. J., Verbruggen, N., 2006: How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science*, 11(12), p. 610–617.
- /14/ Huttunen, S., 1994: Effects of air pollutants on epicuticular wax structure. In: NATO ASI Series G36. Air Pollutants and the Leaf Cuticle. K. E. Percy et al. (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 81-96.
- /15/ Chapin, F.S., 1991: Effects of multiple environmental stresses on nutrient availability and use. In: Mooney, H.A., Winner, W.E., Pell, E.J. (eds.). *Response of Plants to Multiple Stresses*. San Diego, Academic Press, p. 67–88.
- /16/ Chaves, M., Maroko, J. P., Pereira, J.S., 2003: Understanding plant responses to drought - from genes to whole plant. *Functional Plant Biology*, vol.30, p. 239-264.
- /17/ Koppel, A., Heinsoo, K., 1994: Variability in cuticular resistance of *Picea abies* (L.) Karst and its significance in winter desiccation. *Proc. Estonian Acad. Sci., Ecol.* 4, p. 56-63.
- /18/ Kozłowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G. 1991: *The Physiological Ecology of Woody Plants*. San Diego, Academic Press. 657 pp.
- /19/ Larcher, W., 1995: *Physiological Plant Ecology*. Springer Verlag, New York, 353 pp.
- /20/ Lewitt, J., 1980: *Responses of plants to environmental stresses*. Acad. Press, New York, London, 697 pp.
- /21/ Marschner, H., 1995: *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd edn), Academic Press.
- /22/ Merewitz, E. B., Gianfagna, T., Huang, B., 2010: Protein accumulation in leaves and roots associated with improved drought tolerance in creeping bentgrass expressing an *ipt* gene for cytokinin synthesis. *J Exp Bot.* 2011 November; 62(15), p. 5311–5333.
- /23/ Nilsen, E.T., Orcutt, D.M. 1996: *The Physiology of Plants under Stress: Abiotic Factors*. New York, John Wiley & Sons. 689 pp.
- /24/ Osmond, C.B., Björkman, O., Anderson, D.J. 1980: *Physiological Processes in Plant Ecology: Toward a Synthesis with Atriplex*. Ecological Studies, 36. Berlin, Springer-Verlag.

- /25/ Pačuta, V., Černý, I., Karabínová, M., Peřková, J., 1999: Využitie kvapalných hnojív na báze bioaktívnych prírodných látok pri pestovaní repy cukrovej. In *Zborník referátov z tretej vedeckej celoslovenskej repárskej konferencie v Nitre*. Nitra: Agrotár, 1999, s. 102–106.
- /26/ Pinheiro, C., Chaves, M. M., 2011: Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? In *Journal of experimental botany*, vol. 62, , p. 869-882.
- /27/ Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. a kol., 1998: Fyziologie rostlin. Academia Praha, 488 s.
- /28/ Reeves, R. D., Baker, A. J. M., 2000: "Metal-accumulating plants." In *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*, eds. Raskin, I. & Ensley, B.D. (New York: John Wiley and Sons), p. 193-229.
- /29/ Sage, R. F., Kubien, D. S., 2007: The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, vol. 30, p. 1086-1106.
- /30/ Scheible, W.R. *et al.*, 2004: Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of *Arabidopsis* in response to nitrogen. *Plant Physiol.*, 136, p. 2483–2499.)
- /31/ Schubert, R. (ed.). 1985: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Jena, Gustav Fischer Verlag, 327 pp.
- /32/ Song, L., Chow, W. S., Sun, L., Li, CH., Peng, Ch., 2010: Acclimation of photosystem II to high temperature in two *Wedelia* species from different geographical origins: implications for biological invasions upon global warming. *Journal of experimental botany*, vol. 61, p. 4087-4096.
- /33/ Tranbarger, T. J., Al-Ghazi, Y., Muller, B., Teyssendier de la Serve, B., Doumas, P. Touraine, B., 2003: Transcription factor genes with expression correlated to nitrate-related root plasticity of *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell & Environment*, Volume 26, Issue 3, p. 459–469.
- /34/ Vance, C.P. *et al.*, 2003: Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a non-renewable resource. *Plant Physiol.*, 157, p. 423–447.
- /35/ Whittaker, R. H., 1969: *New concepts of kingdoms or organisms. Evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms.* *Science*, Vol. 163, No. 3863, p. 150–160.
- /36/ Woese, C. R., Kandler, O., Wheelis, M. L., 1990: Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 87, p. 4576-4579.
- /37/ Zhao, D. L., Oosterhuis, D. M., Bednarz, C. W., 2001: Influences of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica* 39, p. 103–199.
- /38/ Zlatník, A., 1978: Lesnická fytoecologie. SZN Praha, 495 s.
- /39/ Zlatník, A., Pelikán, J., Stolín, M., 1973: Základy ekologie. SZN Praha, 280 s.

## PodĎakovanie

Táto práca vznikla za finančnej podpory projektu VEGA č. 2/0027/13.

## CONSERVATION OF *IN VITRO* PROPAGATED PLANT MATERIAL BY CRYOPRESERVATION: EMBRYOGENIC TISSUES OF CONIFERS

### ***KRYOKONZERVÁCIA IN VITRO KULTIVOVANÝCH RASTLINNÝCH EXPLANTÁTOV: EMBRYOGÉNNE PLETIVÁ IHLIČNATÝCH DREVÍN***

Terezia Salaj, Ján Salaj

Institute of Plant Genetics and Biotechnology, Slovak Academy of Sciences, Akademická 2, 950 07  
Nitra, Slovak Republic, terezia.salaj@savba.sk

#### **Summary**

Embryogenic tissues of *Pinus nigra* Arn. (selected 8 cell lines) have been cryopreserved by a slow-freezing method. The effect of pre-treatment (sucrose, maltose, sorbitol, each in concentration 0.5 M) on tissue regeneration after storage in liquid nitrogen has been followed. The recovery (regrowth) of tissues reached 87.5% and was dependent on cell line as well as pretreatment. Cryopreservation caused profound changes in the structure of early somatic embryos. Their structural organization has been desintegrated. The long vacuolised suspensor cells disrupted and the meristematic embryonal cells survived. During the post-thaw period new somatic embryos arose from the survived meristematic cells and finally their original structure has been restored. The cryopreserved tissues produced cotyledonary somatic embryos and regenerated small plantlets (somatic seedlings).

*Key words: cryopreservation, somatic embryogenesis, Pinus nigra* Arn.

#### **Súhrn**

Embryogénne pletivá *Pinus nigra* Arn. (8 bunkových línii) boli kryokonzervované metódou pomalého zamŕzania. Testoval sa vplyv predošetrenia pletív (sacharóza, maltóza, sorbitol v koncentrácii 0.5 M) na regeneráciu pletív po udržiavaní v tekutom dusíku. Regenerácia pletív dosiahla 87.5% , ale bola závislá na bunkovej línii a tiež spôsobe predošetrenia. Kryokonzervácia spôsobila výrazné zmeny v štruktúre skorých somatických embryí. Silne predĺžené a vacuolizované bunky suspenzoru sa rozrušili a prežili iba meristematické bunky v embryonálnej časti. V období po rozmrazovaní sa formovali nové somatické embryá zo spomenutých meristematických buniek a pôvodná štruktúra somatických embryí bola obnovená. Kryokonzervované pletivá produkovali somatické embryá, z ktorých sa vyvinuli kľúčne rastliny (somatické semenáče).

*Kľúčové slová: kryokonzervácia, somatická embryogenéza, Pinus nigra* Arn.

## INTRODUCTION

Cryopreservation at ultralow temperatures plays role in the long-term *in vitro* conservation of plant genetic resources. This multistage process comprises: tissue culture, pre-growth, cryoprotection, freezing in liquid nitrogen, thawing, re-growth and regeneration /4/. This technology is based on the induction of cell vitrification during a very fast decrease of temperature /5/. In recent years several reliable techniques of the cryopreservation procedure have been evolved. One of the techniques is the slow-freezing approach based on slow

cooling of the specimen in the presence of a cryoprotectant solution. When the cytosol is enough concentrated (at about -40 °C) the samples can be plunged into liquid nitrogen. This technique has been successfully applied to different cells, tissues and organs of many plant species /8/. For successful cryopreservation a good plant regeneration system is necessary, to ensure plant regeneration after storage in liquid nitrogen. For conifers somatic embryogenesis represents such regeneration system through production of large numbers of plants in relatively short period of time. The long-term maintenance of embryogenic tissues by regular transfers to the fresh media is time consuming as well as risky due to microbial contamination. Cryopreservation could be an alternative approach for long-term maintenance of embryogenic tissues.

Embryogenic tissues of *Pinus nigra* Arn. have been cryopreserved by a slow-freezing method. The objective of these experiments was testing of the effect of pretreatment on the tissue re-growth as well as somatic embryo structure after cryopreservation. The submitted manuscript describes the obtained results.

## MATERIAL AND METHODS

In the experiments embryogenic tissues of *Pinus nigra* Arn., initiated from immature zygotic embryos have been used (cell lines E223, E224, E227, E230, E231, E232, E247, E260). The tissues were pretreated on solid DCR medium /2/ containing maltose, sucrose or sorbitol (each separately in concentration 0.5 M) for 24 hours. After the tissues were re-suspended in liquid medium and gradually in three steps DMSO was added to reach the final concentration 7.5%. Finally, 1.8 ml of suspension was pipetted to cryovials and the cryovials were transferred to Mr. Frosty container placed to -80 °C. When the temperature measured in one of the cryovials reached -40°C, the samples were plunged into liquid nitrogen and kept in this condition for 1 hour. Thawing of samples occurred in water bath at 40 °C and the content of cryovials was poured to stacked filter paper discs to adsorb the liquid. The filter paper discs with cells on the surface were transferred to DCR proliferation medium and cultured in dark at 23 °C. In following period, the recovery (re-growth) as well as fresh mass accumulation of the tissues was evaluated. The structure of somatic embryos before and after cryopreservation has also been observed. Maturation of somatic embryos occurred on medium DCR containing abscisic acid and maltose (for details see /9/). The structure of somatic embryos was followed by squash preparations using acetocarmine staining as well as FDA examination /11/.

## RESULTS AND DISCUSSION

The embryogenic tissues of *Pinus nigra* contain somatic embryos that are bipolar structures composed of meristematic embryonal cells and long vacuolised suspensor cells (Fig. 1). Microscopic observation early after thawing showed that during cryopreservation structural changes occurred in somatic embryos. In most of cases the long vacuolised cells were damaged or completely disrupted. The meristematic embryonal cells survived cryopreservation and they were the only structures displayed fluorescent signal.

Re-growth of tissues (Fig. 2) started around the 4 -7<sup>th</sup> days after thawing and 87.5% of cell lines survived cryopreservation although the individual re-growth frequencies were dependent on cell line and pretreatments (reached 20 to 100%). Only the cell line E231 did not survive cryopreservation. Maltose and sucrose pretreatments e gave higher regrowth

frequencies of tissues than sorbitol. To test the effect of cryoprotectants on the tissue behavior the tissues (the same cell lines) were pretreated but not stored in liquid nitrogen. The re-growth frequencies of these tissues were relatively high, almost in all cell lines 100%. Lowered regeneration frequencies in pretreated but not frozen tissues were obtained for cell line E260.

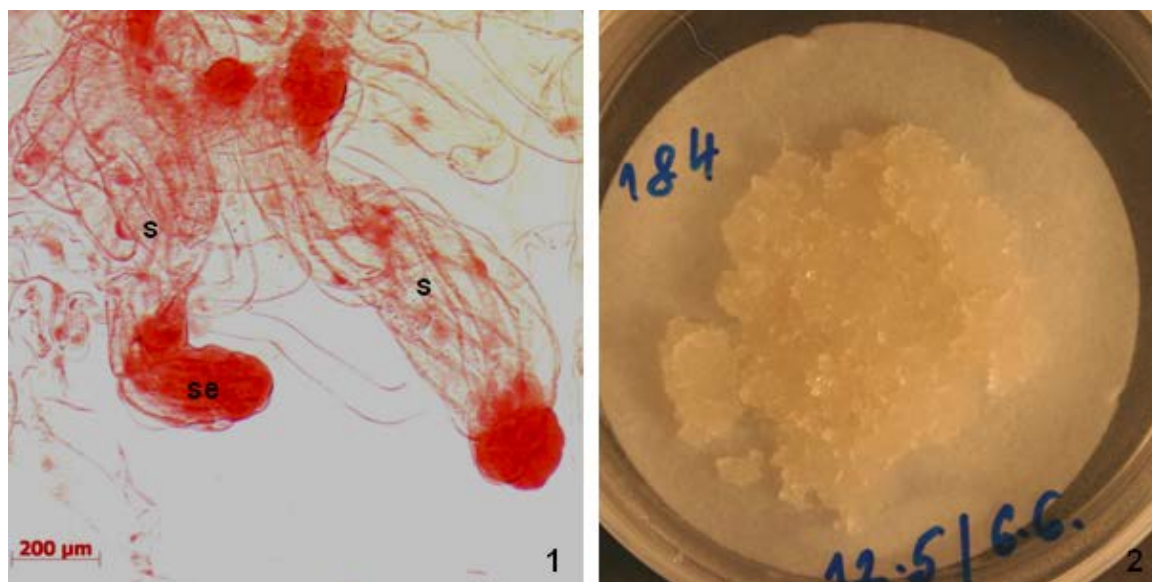


Fig. 1: Bipolar somatic embryos of *Pinus nigra* (se – somatic embryo, s – suspensor cells).

Fig. 2: Embryogenic tissue regeneration after cryopreservation.

The recovered tissues showed similar fresh mass accumulation as the control non-cryopreserved ones and no statistically significant differences have been found for this parameter.

The somatic embryo structure has also been followed in recovered (re-grown) tissues. It was obvious during the post-thaw period the bipolar organisation of somatic embryos has been restored and early somatic embryos were observable in recovered tissues.

The maturation capacity of cryopreserved tissues has also been tested. Approximately five weeks after culture on medium containing abscisic acid numerous precotyledonary somatic embryos were observable. Further culture on maturation medium resulted in the development of cotyledonary somatic embryos capable of plantlet regeneration (somatic seedlings).

The slow-freezing method proved to be applicable for cryopreservation of conifer embryogenic tissues and as a result relatively high regeneration frequencies have been obtained [3, 10, 11]. The tissues recovery is cell line dependent [7] and could be the result of heterogeneous cell composition of cultures [1]. The pretreatments of tissues before cryopreservation is an important step and maltose, sucrose or sorbitol are quite frequently used. For *Pinus nigra* embryogenic tissues maltose and sucrose were optimum for tissue recovery. Similar results were obtained for *Pinus pinaster* [6], contrary for *Abies* embryogenic tissues pretreatment with sorbitol resulted high regeneration frequencies after cryopreservation [11].



The present study showed, although the survival rates after cryopreservation were dependent on cell line as well as pretreatments, still 87.5% of tested cell lines survived storage in liquid nitrogen. Cryopreservation results in destruction of bipolar structure of somatic embryos, in turn their structure was restored in the following post-thaw period. On maturation medium, the cryopreserved tissues produced cotyledonary somatic embryos capable of development and plantlet (somatic seedlings) regeneration. These results suggest the slow-freezing cryopreservation method is convenient for cryopreservation of *Pinus nigra* embryogenic tissues.

## REFERENCES

- /1/ Gale, S., John, A., Benson, E.E.: Cryopreservation of *Picea sitchensis* (Sitka spruce) embryogenic suspensor masses. *CryoLetters* 28, 2007: 225-239
- /2/ Gupta, P.K., Durzan, D.J.: Shoot multiplication from mature trees of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugar pine (*Pinus lambertiana*). *Plant Cell Reports* 4, 1985: 177-179
- /3/ Häggman, H., Ryyänen, L., Aronen, T., Krajňakova, J.: Cryopreservation of embryogenic cultures of Scots pine. *Plant Cell Tiss Org Cult* 54, 1998: 45-53
- /4/ Harding, K., Johnston, J., Benson, E.E.: Plant and algal cell cryopreservation: issues in genetic integrity, concepts in „cryobionomics“ and current European applications in cryobiology. In: „Contributing to a sustainable Future. “Proceedings of the Australian Branch of the IAPTC and B (Eds. Bennet, I.J., Bunn, E., Clarke, H.), Perth, Australia, 21-24, September, 2005, 112-120
- /5/ Lambardi, M., Benelli, C., De Carlo, A.: Cryopreservation as a tool for the long-term conservation of woody plants germplasm: development of the technology at the CNR/IVALIS institute of Florence. In: The role of Biotechnology. Villa Gualino, Turin, Italy, 5-7March, 2005, 181-182
- /6/ Marum, L., Estevaco, C., Oliveira, M., Amancio, S., Rodrigues, L., Miguel, C.: Recovery of cryopreserved embryogenic cultures of maritime pine – effect of cryoprotectant and suspension density. *CryoLetters* 25, 2004: 363-374
- /7/ Nørgaard, J.V., Duran, V., Johnsen, O., von Arnold, S.: Variation in cryotolerance of embryogenic *Picea abies* cell lines and the association to genetic, morphological, and physiological factors. *Can J For Res* 23, 1993: 2560-2567
- /8/ Panis, B., Lambardi, M.: Status of cryopreservation Technologies in plants (crops and forest trees). In: The role of Biotechnology. Villa Gualino, Turin, Italy, 5-7March, 2005, 43-54
- /9/ Salajova T., Salaj J., Kormutak A. (1999): Initiation of embryogenic tissues and plantlet regeneration from somatic embryos of *Pinus nigra* Arn. *Plant Science*, 145: 33-40
- /10/ Salaj, T., Panis, B., Swennen, R., Salaj, J.: Cryopreservation of embryogenic tissues of *Pinus nigra* Arn. by a slow freezing method. *CryoLetters* 28, 2007: 69-76
- /11/ Salaj, T., Matusikova, I., Panis, B., Swennen, R., Salaj, J.: Recovery and characterisation of hybrid firs (*Abies alba* x *A.cephalonica*, *Abies alba* x *A. numidica*) embryogenic tissues after cryopreservation. *CryoLetters* 31, 2010: 206-217
- /12/ Vondrakova, Z., Cvikrova, M., Eliasova, K., Martincova, O., Vagner, M.: Cryotolerance of Norway spruce and its association with growth rates, anatomical features and polyamines of embryogenic cultures. *Tree Physiology* 30, 2010: 1335-1348

## Acknowledgement

Supported by the Slovak Grant Agency VEGA, proj. No. 2/0144/11.

## **ODEZVA JEČMENE (*HORDEUM VULGARE*) CV. AMULET A CV. TADMOR NA ZASOLENÍ**

### ***THE RESPONSE OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE*) CV. AMULET AND CV. TADMOR TO SALINITY STRESS***

Klára Kosová, Pavel Vítámvás, Eva Vlasáková, Ilja Tom Prášil

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Oddělení genetiky a šlechtitelských metod, Odbor genetiky, šlechtění a kvality produkce, Drnovská 507, 161 00 Praha 6 – Ruzyně, kosova@vurv.cz

#### ***Summary***

Salinity response has been studied in Czech spring barley Amulet and Syrian landrace Tadmor grown in aerated hydroponic solution in regulated conditions (growth chamber experiment). The impact of a continuously increased salt concentrations (from 0 mM NaCl to 100 mM NaCl or 300 mM NaCl; 1. sampling - acclimation) as well as an one-step salinity increase (2. sampling – shock) as well as a subsequent 7-day recovery treatment (3. sampling) have been studied by determination of water saturation deficit (WSD), osmotic potential, proline content, chlorophyll a fluorescence parameter Fv/Fm and dehydrin relative abundance DHN in leaf samples. Principal component analysis (PCA) has revealed that Tadmor was able to recover even from a high salinity stress (300 mM NaCl) while Amulet did not. The experiment has thus shown a higher salinity tolerance and a better recovery capacity of Tadmor with respect to Amulet.

*Key words barley, salinity, water saturation deficit, osmotic potential, proline, dehydrins*

#### ***Souhrn***

Byla sledována odezva české jarní odrůdy ječmene Amulet a syrské krajové odrůdy (landrace) Tadmor na zasolení. Byla provedena hydroponická kultivace rostlin v regulovaných podmínkách klimaboxu. Byl sledován účinek dvou různých koncentrací soli – 100 mM NaCl a 300 mM NaCl, a to jednak po postupném zvyšování koncentrace soli až na 300 mM NaCl (1. odběr, aklimace), jednak po jednorázovém zvýšení z 0 mM NaCl na 300 mM NaCl (2. odběr, šok) a po 7 dnech regenerace v kontrolních podmínkách (3. odběr, recovery). Byl stanoven vodní sytostní deficit (WSD), osmotický potenciál, obsah prolinu, fluorescence chlorofylu a – maximální fotochemická účinnost fotosystému II Fv/Fm a relativní akumulace dehydrinových proteinů DHN. Statistická analýza hlavních komponent (PCA) ukázala odlišnou odolnost a schopnost regenerace odrůd Amulet a Tadmor. Zatímco Tadmor byl po vystavení vysokému zasolení (300 mM NaCl) schopen regenerace a návratu stanovených charakteristik do hodnot blízkých kontrolním rostlinám, Amulet nikoliv.

*Klíčová slova: ječmen, zasolení, vodní sytostní deficit, osmotický potenciál, prolin, dehydrin*

## ÚVOD

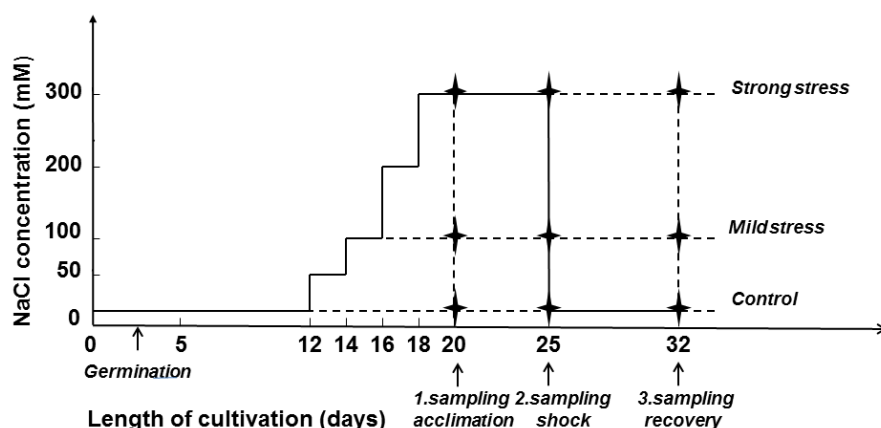
Zasolení představuje celosvětově významný abiotický stresový faktor, který ohrožuje již více než 7% celkové obdělávané půdy, v případě uměle zavlažovaných půd dokonce třetinu /1/. Zasolení se projevuje jako okamžitý stres díky sníženému osmotickému potenciálu

půdního roztoku (osmotický efekt) a jako postupný stres díky akumulaci iontů soli, především Na<sup>+</sup>, v pletivech rostliny (iontový efekt; /2/). Odezvou rostliny na osmotický efekt je osmotické přizpůsobení spočívající ve snížení osmotického potenciálu cytoplasmy v důsledku hromadění osmoticky aktivních látek (prolin; proteiny – dehydriny). Ionty Na<sup>+</sup> pronikající do buňky prostřednictvím nescifických iontových kanálů iniciují odezvu vedoucí buď k aktivnímu odstraňování iontů (ion exclusion) nebo k jejich vnitrobuněčné kompartmentaci ve vakuole vedoucí k toleranci pletiva (tissue tolerance). Ječmen (*Hordeum vulgare*) patří mezi relativně odolné obiloviny vůči zasolení, přičemž vykazuje velkou vnitrodruhovou variabilitu /3/.

Pro experiment byly zvoleny česká jarní odrůda ječmene Amulet a syrská krajová odrůda (landrace) Tadmor, které pocházejí z odlišného prostředí a liší se svou odolností vůči suchu a dalším dehydratačním stresům. U obou odrůd byly hodnoceny fyziologické charakteristiky související s hydratací pletiv (vodní sytostní deficit WSD), akumulací osmoticky aktivních látek (osmotický potenciál, obsah prolinu, relativní akumulace dehydrinových proteinů) a s aktivitou fotosyntetického aparátu (fluorescence chlorofylu *a* – maximální fotochemická účinnost fotosystému II Fv/Fm). Všechny hodnocené charakteristiky byly stanoveny v listech obou odrůd jednak po postupném zvyšování koncentrace soli až na 300 mM NaCl (1. odběr, aklimace), jednak po jednorázovém zvýšení koncentrace soli z 0 mM NaCl na 300 mM NaCl (2. odběr, šok) a po 7 dnech regenerace v kontrolních podmínkách (3. odběr, recovery).

## MATERIÁL A METODA

Pro experiment byla zvolena česká jarní odrůda ječmene setého (*Hordeum vulgare*) Amulet (A) a syrská krajová odrůda (landrace) Tadmor (T), která se vyznačuje vysokou odolností k suchu a k dalším dehydratačním stresům. Rostliny byly naklíčeny v termostatu při 20 °C a 100% relativní vzdušné vlhkosti po dobu 5 dnů a pak byly pěstovány v kultivačním boxu (Tyler T-16/4, Budapešť, Maďarsko) v regulovaných teplotních a světelných podmínkách (20 °C, 350 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) v kontinuálně vzdušněném živném roztoku Hydropon (Lovochemie, Lovosice, ČR; zředění komerčního roztoku 1:200, složení finálně zředěného roztoku: makroprvky 10,7 mM N, 1,4 mM P, 5,3 mM K (bezchloridová forma); mikroprvky: Fe (chelátová forma), B, Cu, Mn, Mo, Zn; pH upraveno na 6,5 přidavkem KOH), který byl měněn každý 3. den, aby nedošlo k vyčerpání živin. Nejprve byly všechny rostliny pěstovány 7 dnů v kultivačním roztoku bez přidavku chloridu sodného (0 mM NaCl, kontrolní podmínky). U rostlin vystavených stresu zasolení byla jednak postupně zvyšována koncentrace chloridu sodného v živném roztoku na 100 mM NaCl (nízký stres) a na 300 mM NaCl (vysoký stres; 1. odběr – aklimace), jednak jednorázově zvýšena z 0 mM NaCl na 300 mM NaCl anebo ze 100 mM NaCl na 300 mM NaCl (2. odběr – šok). Poté byly rostliny vystavené vysoké koncentraci soli přeneseny zpět do kontrolního živného roztoku (0 mM NaCl) a po 7 dnech kultivace byly stanoveny jejich fyziologické charakteristiky (3. odběr – recovery; schéma uspořádání celého pokusu viz obr. 1).



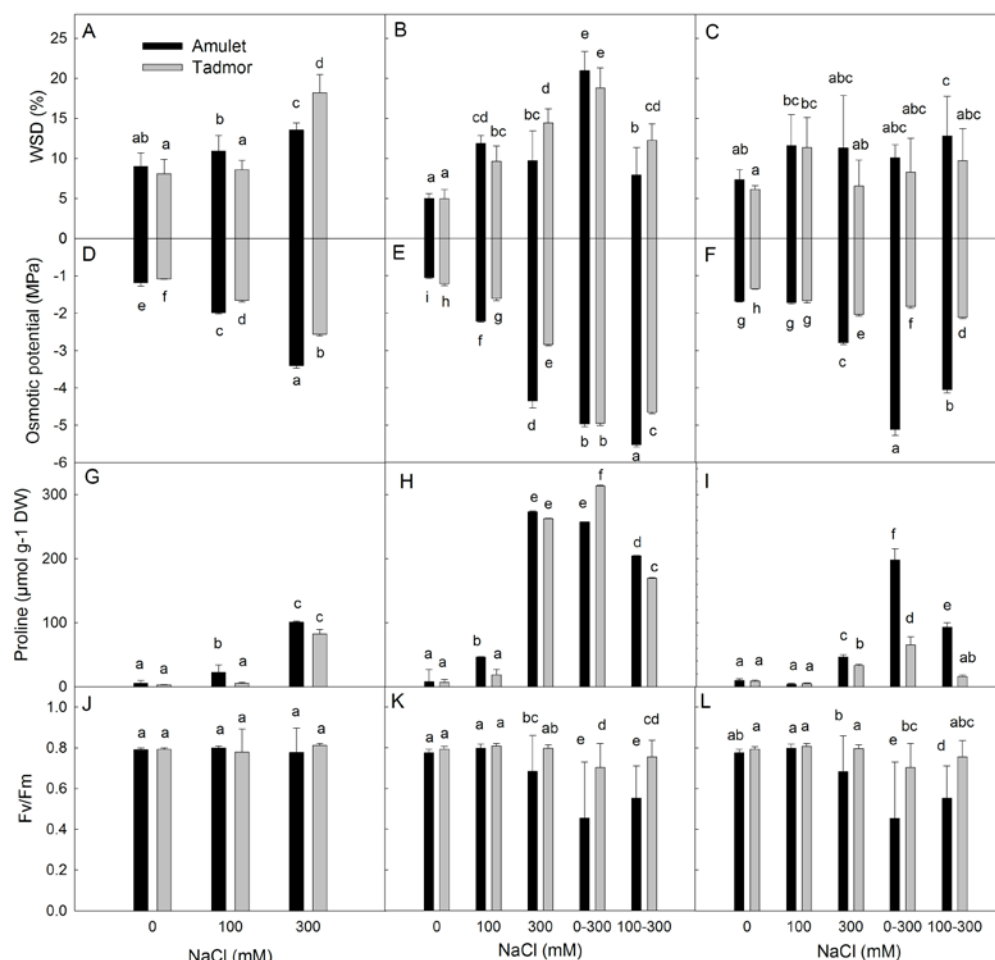
Obrázek 1: Schéma pokusu. Nejprve byly všechny rostliny nakličovány po dobu 5 dnů v termostatu, poté byly všechny rostliny 7 dnů pěstovány ve zředěném živném roztoku bez přidavku chloridu sodného (0 mM NaCl, kontrolní podmínky). Poté byla u části rostlin koncentrace chloridu sodného v kultivačním roztoku postupně zvyšována na 100 mM NaCl (mírný stres, mild stress) a 300 mM NaCl (silný stres, strong stress) a po 8 dnech byl proveden 1. odběr (aklimace, acclimation). Poté byla u další části rostlin koncentrace NaCl zvýšena jednorázově z 0 mM NaCl na 300 mM NaCl (varianty 0-300 v obr. 2-4) a z 100 mM NaCl na 300 mM NaCl (varianty 100-300 v obr. 2-4) a po 5 dnech byl proveden 2. odběr (šok, shock). Následně byly všechny rostliny přeneseny zpět do kontrolních podmínek (živný roztok obsahující 0 mM NaCl) a po 7 dnech kultivace byl proveden 3. odběr (regenerace, recovery).

Naměřené Ve všech třech odběrech byl v listech rostlin stanoven vodní sytostní deficit (WSD; /4/), osmotický potenciál vytlačené buněčné šťávy (stanoven pomocí osmometru Dew-Point Osmometer WESCOR, Inc., USA), fluorescenční parametr maximální fotochemická účinnost fotosystému II Fv/Fm (stanoven pomocí přístroje Fluorpen FP100, ČR, dle příslušného manuálu), obsah prolinu (metodou dle Jiménez-Bremont *et al.* /5/) a relativní akumulace dehydrinových proteinů (kombinace 1-D SDS-PAGE a imunoblotu s využitím specifické antidehydrinové primární protilátky dle /6/). Získaná data byla statisticky vyhodnocena pomocí programu STATISTICA, StatSoft, Inc., a to jednak pomocí analýzy variance ANOVA, mnohonásobná porovnávání, LSD test, 0,05 hladina významnosti (každý fyziologický parametr byl hodnocen zvlášť), jednak pomocí multidimenzionální analýzy hlavních komponent PCA (všechny fyziologické charakteristiky – WSD, osmotický potenciál, prolin, Fv/Fm, DHN – dohromady; data pro jednotlivé charakteristiky byla předem transformována na tzv. Z-skore).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

V reakci na zvyšující se koncentraci chloridu sodného byl u obou odrůd stanoven nárůst vodního sytostního deficitu (obr. 2 A-C), pokles osmotického potenciálu (obr. 2 D-F), nárůst obsahu prolinu v listech (obr. 2 G-I), pokles fluorescenčního parametru Fv/Fm (obr. 2 J-L) a nárůst relativní akumulace dehydrinů DHN (obr. 3), přičemž větší změny byly zaznamenány u rostlin vystavených jednorázovému zvýšení z 0 mM NaCl na 300 mM NaCl anebo ze 100 mM NaCl na 300 mM NaCl (vzorky značené 0-300 a 100-300; 2. odběr – šok) než u rostlin,

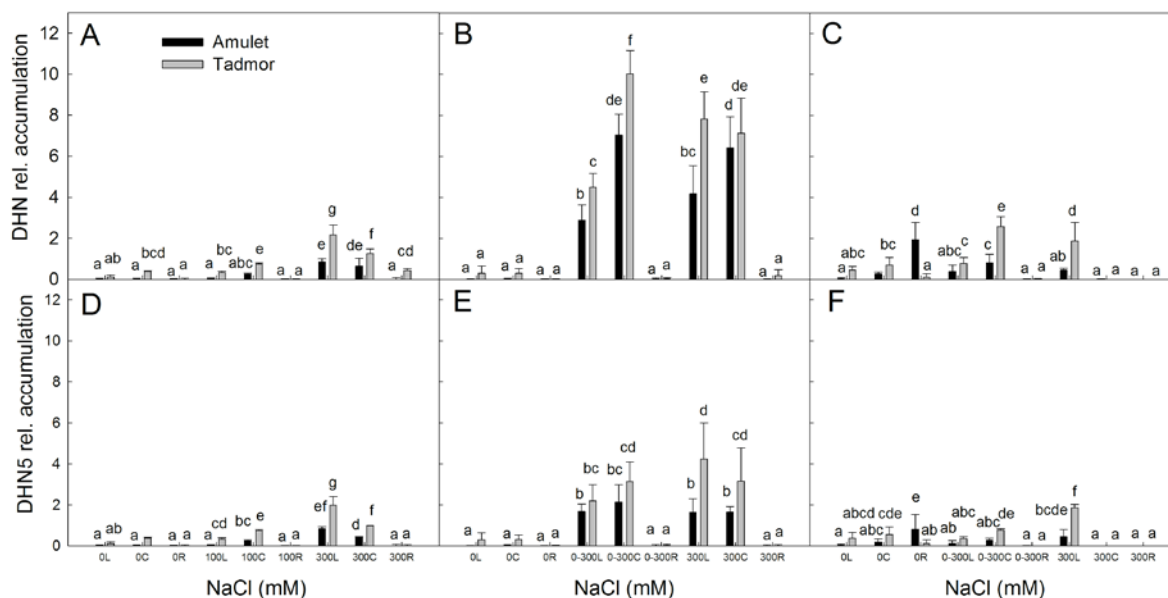
kde se koncentrace NaCl zvyšovala postupně (vzorky značené 100 a 300; 1. odběr – aklimace; obr. 2, 3).



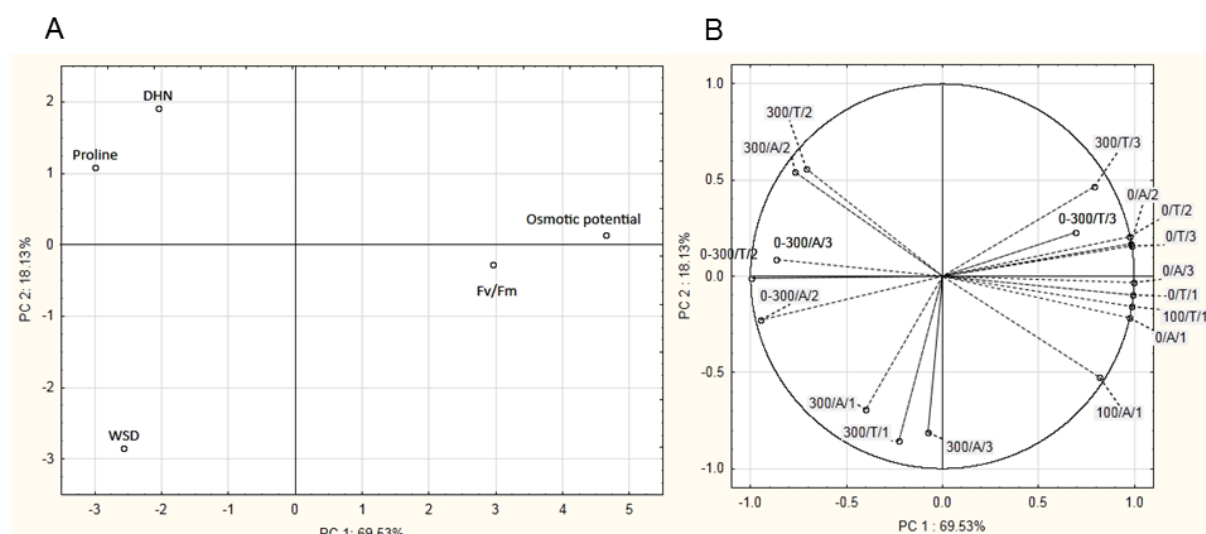
Obrázek 2: Hodnoty vodního sytostního deficitu (WSD; A-C), osmotického potenciálu (D-F), prolinu (G-I) a fluorescenčního parametru Fv/Fm (J-L) v listech odrůdy Amulet (černé sloupce) a odrůdy Tadmor (šedé sloupce) v době prvního odběru (aklimace; A, D, G, J), druhého odběru (šok; B, E, H, K) a třetího odběru (regenerace; C, F, I, J). Chybové úsečky značí střední chybu průměru (SE; n=3). Odlišná písmena v jednotlivých grafech značí statisticky významné rozdíly získané analýzou variance ANOVA, mnohonásobná porovnávání, LSD test, 0,05 hladina významnosti.

Odrůda Amulet přitom dosahovala vyššího nárůstu WSD a poklesu osmotického potenciálu a fluorescenčního parametru Fv/Fm oproti odrůdě Tadmor. Odrůda Tadmor naopak ve srovnání s odrůdou Amulet dosahovala vyšší akumulace prolinu a dehydrinů. Největší rozdíly mezi oběma odrůdami se projevily po 7 denní regeneraci, kdy odrůda Tadmor včetně rostlin vystavených jednorázovému zvýšení koncentrace NaCl (vzorky 0-300) byla schopna regenerace, tj. návratu hodnot jednotlivých charakteristik (WSD, osmotický potenciál, prolin, Fv/Fm, relativní akumulace dehydrinů) ke stavu blízkému kontrolním rostlinám, zatímco odrůda Amulet nikoliv. Výsledky multidimenzionální analýzy hlavních komponent (PCA; obr. 4) ukázaly odlišnou schopnost regenerace odrůdy Amulet a odrůdy Tadmor po zasolení (obr. 4B; vzorky z 3. odběru – poloha vzorků 300/T/3 a 0-300/T/3 v pravé polovině grafu, kde se nacházejí kontrolní vzorky pěstované v 0 mM NaCl; poloha

vzorků 300/A/3 a 0-300/A/3 v levé polovině grafu, kde se nacházejí vzorky pěstované v 300 mM NaCl). Lze tedy konstatovat, že syrská krajová odrůda Tadmor se ve srovnání s českou odrůdou Amulet vyznačuje vyšší odolností ke stresu zasolení spojenou s vyšší akumulací prolinu a dehydrinů a schopností regenerace po návratu z vysoké koncentrace chloridu sodného (300 mM NaCl) do kontrolních podmínek, zatímco odrůda Amulet byla účinkem 300 mM NaCl trvale poškozena a neschopna regenerace po návratu do kontrolních podmínek.



Obrázek 3: Relativní akumulace dehydrinů (A-C) a relativní akumulace vysokomolekulárního dehydrinu DHN5 (D-F) u odrůdy Amulet (A; černé sloupce) a odrůdy Tadmor (T; šedé sloupce) v listech (L), odnožovacích uzlech (C) a kořenech (R) v době prvního odběru (aklimace; A, D), druhého odběru (šok; B, E) a třetího odběru (regenerace; C, F). Chybové úsečky značí střední chybu průměru (SE;  $n=3$ ). Odlišná písmena v jednotlivých grafech značí statisticky významné rozdíly získané analýzou variance ANOVA, mnohonásobná porovnávání, LSD test, 0,05 hladina významnosti.



Obrázek 4: Multidimenzionální analýza hlavních komponent (PCA) ukazující výsledky statistického hodnocení pro jednotlivé fyziologické charakteristiky (WSD, osmotický potenciál, prolin, Fv/Fm, DHN; A) a pro jednotlivé vzorky (B).

#### **LITERATURA**

- /1/ Munns, R.: Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 2002: 239-250.
- /2/ Munns, R.: Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167, 2005: 645-663.
- /3/ Colmer, T. D., Flowers, T. J., Munns, R.: Use of wild relatives to improve salt tolerance in wheat. *J. Exp. Bot.* 57(5), 2006: 1059-1078.
- /4/ Slavík, B.: Relationship between the osmotic potential of cell sap and the water saturation deficit during the wilting of leaf tissue. *Biol. Plant.* 5(4), 1963: 258-264.
- /5/ Jiménez-Bremont, J. F., Becerra-Flora, A., Hernández-Lucero, E., Rodríguez-Kessler, M., Acosta-gallegos, J. A., Ramírez-Pimentel, J. G.: Proline accumulation in two bean cultivars under salt stress and the effect of polyamines and ornithine. *Biol. Plant.* 50(4), 2006: 763-766.
- /6/ Kosová, K., Holková, L., Prášil, I. T., Prášilová, P., Bradáčová, M., Vítámvás, P., Čapková, V.: Expression of dehydrin 5 during the development of frost tolerance in barley (*Hordeum vulgare*). *J. Plant Physiol.* 165, 2008: 1142-1151.

#### **Poděkování**

Práce byla finančně podpořena projektem MŠMT ČR LD11069 řešeným v rámci mezinárodní akce COST FA0901 „Putting Halophytes to Work – From genes to Ecosystems“ a Výzkumným záměrem MZe 0002700604.

## AKUMULÁCIA ZINKU V SYSTÉME PÔDA-BYLINA V IMISNE OVPLYVNENÝCH BUKOVÝCH EKOSYSTÉMOCH

### ZINC ACCUMULATION IN THE SYSTEM SOIL-PLANT IN BEECH ECOSYSTEMS STRESSED BY AIRBORNE POLLUTION

Margita Kuklová<sup>1</sup>, Ján Kukla<sup>1</sup>, Ivana Šimková<sup>1</sup>, Helena Hniličková<sup>2</sup>, František Hnilička<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, kuklova@savzv.sk

<sup>2)</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPZ, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, hnlickova@af.czu.cz

#### Summary

The research was carried out in beech geobiocoenoses of the Kremnické and Štiavnické vrchy Mts situated at various distances from an aluminium plant in Žiar nad Hronom. The Zn amounts in the surface humus ranged from  $87.32 \pm 10.02$  (MP Močiar) to  $180.97 \pm 93.75$  mg kg<sup>-1</sup> (MP Žiar nad Hronom), and exceeded the background value in the plants. In the Aoq soil horizons were accumulated 41.2–71.4 mg Zn kg<sup>-1</sup>. The detected concentrations were not outside the limits for risk elements in soils. The minimum Zn content in plants was detected in the *Dentaria bulbifera* (27.70 mg kg<sup>-1</sup>), the maximum was in the *Galium odoratum* species (85.90 mg kg<sup>-1</sup>). The highest Zn amount was in the *Galium odoratum* on MP Močiar (90 %). The Zn concentrations in the plants were by 30–90 % higher than Zn amounts in Aoq soil horizons, and in most cases, they surpassed the background values recognised for the plants.

**Key words:** *nudal beech stands, cambisols, herb species, airborne pollution stress, zinc concentration*

#### Súhrn

Výskum bol realizovaný v bukových geobiocenózach Kremnických a Štiavnických vrchov. MP sa nachádzajú v rôznej vzdialenosti od hliníkárne v Žiari nad Hronom. Priemerné hodnoty Zn v subhorizontoch pokrývkového humusu sa pohybovali v rozmedzí od  $87,32 \pm 10,02$  (MP Močiar) do  $180,97 \pm 93,75$  mg kg<sup>-1</sup> (MP Žiar nad Hronom) a boli vyššie, ako požadovaná hodnota v rastlinách. V Aoq horizontoch pôd sa akumulovalo 41,2–71,4 mg Zn kg<sup>-1</sup>. Sledované koncentrácie neprekročili limitnú hodnotu rizikových prvkov v pôde. Najnižší obsah Zn v rastlinách bol zistený v druhu *Dentaria bulbifera* (27,70 mg kg<sup>-1</sup>), najvyšší v druhu *Galium odoratum* (85,90 mg kg<sup>-1</sup> sušiny). Z množstva Zn akumulovaného v Oo horizontoch pôd prijal druh *Galium odoratum* na MP Močiar až 90 %. Koncentrácie Zn v bylinách boli o 30 až 90 % vyššie, ako obsahy Zn v Aoq horizontoch pôd a vo väčšine prípadov prevyšovali požadovú hodnotu v rastlinách.

**Kľúčové slová:** *nudálne bučiny, kambisoly, bylinné druhy, vplyv imisií, koncentrácia zinku*

#### ÚVOD

Rastliny v priebehu svojho života sú vystavené pôsobeniu stresových faktorov najmä biotickej a abiotickej povahy, ktoré môžu nielen spomaľovať ich životné funkcie, ale takisto



poškodzoval jednotlivé orgány (nekrotické zmeny na asimilačných orgánoch, predčasné žltnutie, opad listov) a v krajnom prípade viesť k úhynu rastliny /1, 2, 3/. Zinok, ako esenciálny rastlinný mikroelement pri vyšších koncentráciách pôsobí negatívne na metabolické procesy a môže spôsobiť pokles produkcie biomasy a poškodenie orgánov rastlín. Vo forme rozpustných organických komplexov je tento element ľahko prístupný pre rastliny. Rastliny prijímajú zinok vo forme dvojmocného kationu ( $\text{Zn}^{2+}$ ) alebo v chelátovej forme /4/. Medzi antropogénne zdroje zinku kontaminujúce pôdu patria najmä emisie z priemyslu, aplikácie kalov a agrochemikálií. Oblasť Žiarskej kotliny patrila v minulosti k jednej z najviac zaťažených oblastí negatívnymi faktormi prostredia a od roku 1953 emitovala tisíce ton škodlivín (fluórové exhaláty, dechty, oxidy síry, dusíka a tuhé látky).

V práci sme sa zamerali na posúdenie obsahu Zn v pôdach a jeho transfer do asimilačných orgánov bylín (*Dentaria bulbifera* L., *Dryopteris filix mas* (L.) Schott, *Galium odoratum* (L.) Scop.) rastúcich v bukových fytocenózach nachádzajúcich sa v rôznej vzdialenosti od emisného zdroja – hlinikárne v Žiari nad Hronom.

## MATERIÁL A METÓDY

Výskum sme uskutočnili v bukových ekosystémoch situovaných v S časti Štiavnických vrchov a JV časti Kremnických vrchov. Skúmané geobiocenózy sa nachádzajú v rôznej vzdialenosti od emisného zdroja (závodu na výrobu hliníka v Žiari nad Hronom) – 1,5 km (MP Žiar nad Hronom), 7,0 km (MP Močiar) a 18 km (EES Kremnické vrchy). Na MP Žiar nad Hronom a MP Močiar ide o segment geobiocenózy zo skupiny lesných typov (slt) *Fagetum pauper superiora*, na EES Kremnické vrchy o slt *Fagetum pauper inferiora*. Podrobnejšia charakteristika výskumných plôch je uvedená v /5/.

Z plochy každého fytocenologického zápisu sa odobrali vzorky pokrývkového humusu a reprezentatívne vzorky pôd z vrstvy 0–5 cm /5/. Vzorky bylín a pôd sa zhomogenizovali pomocou achátového mlynu firmy Fritsch ( $<0.001$  mm) a zmineralizovali sa za pomoci koncentrovanej  $\text{HNO}_3$  v mikrovlnnej piecke Uni Clever (Plasmatronika, Poľsko). Celkový obsah Zn v pôdnych vzorkách sa stanovil metódou AAS-FAAS (STN ISO 8288) na prístroji Thermo iCE 3000 Series. V zmineralizovaných rastlinných vzorkách sa celkový obsah Zn stanovil metódou AES-ICP za pomoci prístroja Varian 725 ES.

Zo zistených koncentrácií skúmaného prvku sa vypočítali transferové koeficienty v systéme pôda – rastlina a vyhodnotili programom Statistica 9.

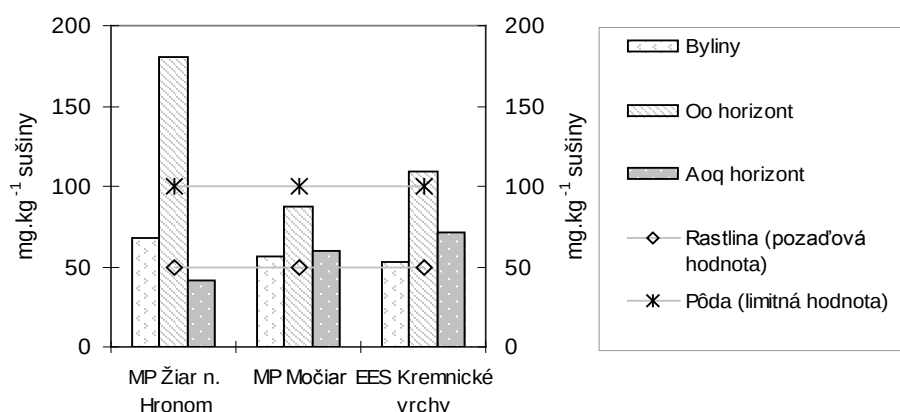
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre distribúciu zinku v pôde, jeho uvoľniteľnosť a prijateľnosť rastlinami je významný najmä humus a jeho kvalita. Podľa /6/ zinok pri hodnote pH nižšej ako 5,5 disponuje maximálnou mobilitou v pôdnom prostredí. V pôde zostáva hlavne v povrchových vrstvách, pričom až 70 % zinku sa koncentruje v horných 4 cm pôdy. Aktuálna reakcia kambizemí skúmaných ekosystémov je kyslá až slabo kyslá, v prípade pokrývkového humusu sa podstatne nemení ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  5,1–5,4), kým v prípade minerálnych vrstiev kolíše od  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  4,6 – MP Žiar nad Hronom do  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  6,3 – EES Kremnické vrchy), /5/.

Na obr. 1 sú uvedené priemerné obsahy Zn ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) vo vrchných vrstvách pôdnych vzoriek. Z analyzovaného súboru vzoriek pokrývkového humusu ( $n=21$ ) sa zistilo, že Zn vo všetkých prípadoch prevyšoval požadovú hodnotu v rastlinách /7/ o 60 až 450 %. Absolútne

najnižší ( $65,60 \text{ mg kg}^{-1}$ ) a súčasne aj najvyšší obsah Zn ( $511,70 \text{ mg kg}^{-1}$  sušiny) bol pozorovaný v subhorizontoch Ool, resp. Ooh kambizeme pseudoglejovej na MP Žiar nad Hronom. So vzrastajúcou hĺbkou odberu vzorky (s výnimkou EES Kremnické vrchy) sa obsahy Zn v subhorizontoch pokrývkového humusu spravidla zvyšovali.

Celkové priemerné hodnoty zinku v subhorizontoch pokrývkového humusu (Oo) kolísali od  $87,32 \pm 10,02$  do  $180,97 \pm 93,75 \text{ mg kg}^{-1}$ . Najvyšší obsah sa zistil v Oo horizonte MP Žiar nad Hronom, najnižší na MP Močiar. V Aeq horizontoch pôd (v hĺbke 0–5 cm) sa nachádzalo  $41,15\text{--}71,42 \text{ mg kg}^{-1}$  zinku. Priemerný obsah Zn so vzdialenosťou od zdroja imisií sa zvyšoval. Najvyšší obsah sa zistil v A horizonte kambizeme andozemnej na EES Kremnické vrchy, najnižší bol v zrnitostne ťažšom A horizonte kambizeme pseudoglejovej v Žiari nad Hronom.



Graf 1: Priemerný obsah Zn v pôdach a bylinách skúmaných bukových fytocenóz.

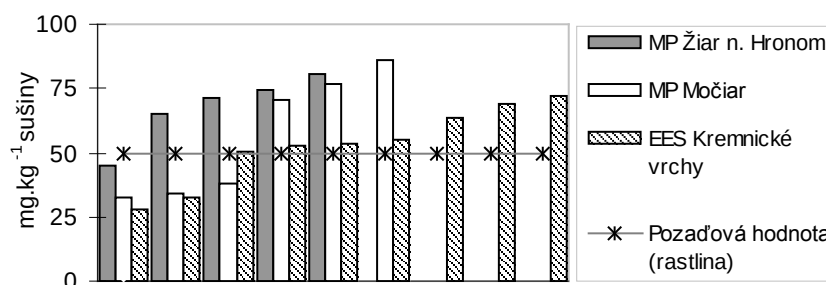
Kabata-Pendias /8/ uvádza, že celkový obsah zinku v pôdach kolíše od 60 do  $89 \text{ mg kg}^{-1}$ . Urminská et al. /9/ v pôdach Žiarskej kotliny pozorovali od 23 do  $1790 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$ . Silnú záťaž zaznamenali autori vo fluvizemiach riečnej nivy Hrona a priľahlých potokov v obciach Lovča, Hliník n. Hronom a Revištské Podzámčie. V zmysle /10/ pre pôdny druh hlinitá pôda s pH menej ako 6,0 platí pre Zn limitná hodnota  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny. V zmysle citovaného zákona priemerný obsah Zn v Aeq horizontoch pôd neprekročil limitnú hodnotu rizikových prvkov v poľnohospodárskej pôde.

Na obr. 2 sú uvedené obsahy Zn ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v odobraných bylinných druhoch. Absolútne najnižší obsah Zn v rastlinách ( $27,70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) bol zistený v sušine druhu *Dentaria bulbifera* na EES Kremnické vrchy, najvyšší v sušine *Galium odoratum* ( $85,90 \text{ mg kg}^{-1}$  sušiny) na MP Močiar. Z analyzovaného súboru vzoriek ( $n=20$ ), Zn v prípade 13 prevyšoval požadovú hodnotu v rastlinách /7/.

Obsah Zn v rastlinách kolíše rôzne, v závislosti od faktorov prostredia a genotypov jednotlivých ekosystémov /8/. Podľa citovanej autorky napr. priemerné obsahy Zn v sušine cereálii (pšenica, ovos) kolíšu od 24 to  $33 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Požadové hodnoty v trávach prezentuje od 12 do  $47 \text{ mg.kg}^{-1}$ , resp. od 24 to  $45 \text{ mg.kg}^{-1}$  v d'atelovinách. Nedostatok obsahu Zn v rastlinách vyjadrila rozsahom koncentrácií od  $10\text{--}20 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny.

Vyššie transferové koeficienty (TK) zistené na skúmaných MP sú spojené s podstatne vyšším obsahom tohto elementu v bylinách, v porovnaní s obsahmi v pôde. Najviac Zn na MP prijal druh *Galium odoratum* (TK – 0,9), čo je len približne o 10 % menej, v porovnaní s

priemerným obsahom Zn zisteným v Oo horizontoch pôd. Na druhej strane, druh *Dentaria bulbifera* rastúci na tej istej ploche prijal len 40 % Zn, v porovnaní s priemerným obsahom prvku akumulovanom v Oo horizontoch pôd. V porovnaní s Aog horizontmi skúmaných pôd, Zn najlepšie absorbovali bylinné druhy rastúce na MP Žiar nad Hronom (TK 1,5–1,9) a MP Močiar (TK – 1,3).



Graf 2: Variabilita obsahov Zn v sušine bylinných druhov (*Dentaria bulbifera* L., *Dryopteris filix mas* (L.) Schott, *Galium odoratum* (L.) Scop.).

Priemerný obsah Zn akumulovaný v pokrývkovom humuse a bylinách rastúcich v skúmaných bukových ekosystémoch sa so vzdialenosťou od zdroja imisií znižoval, v Aog horizontoch pôd sa obsah zinku zvyšoval. Najviac Zn akumulovali bylinné druhy rastúce na MP Žiar nad Hronom a MP Močiar.

## LITERATÚRA

- /1/ Jamnická, G., Bučinová, K., Havranová, I., Urban, A.: Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Žiar nad Hronom, Central Slovakia. *Forest Ecology and Management*, 248, 1-2, 2007: 26–35.
- /2/ Kukla, J., Kuklová, M.: Growth of *Vaccinium myrtillus* L. (ERICACEAE) in spruce forests damaged by air pollution. *Polish Journal of Ecology*, 56, 1, 2008: 149–155.
- /3/ Janík, R.: Biomass production of *Viola reichenbachiana* L. in submountain beech forest of Kremnické vrchy Mts (Western Carpathians, Slovakia). *Folia Oecologica*, 37, 1, 2010:35–41.
- /4/ Makovníková, J., Barančíková, G., Dlapa, P., Dercová, K.: Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. *Chemické listy*, 100, 2006: 424–432.
- /5/ Kuklová, M., Kukla, J., Sýkora, A.: Obsah C<sub>t</sub> a N<sub>t</sub> v pôde a v nadzemnej časti druhu *Dentaria bulbifera* L. v imisne ovplyvnených bukových ekosystémoch. In *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha-Ruzyně, Česká zemědělská univerzita v Praze*, 2011: 52–57.
- /6/ Barančíková, G.: Návrh účelovej kategorizácie pôd SR z hľadiska citlivosti k znečisteniu ťažkými kovmi. *Rostlinná výroba*, 44, 3, 1998: 117–122.
- /7/ Markert, B.: Instrumental multielement analysis in plant materials – a modern method in environmental chemistry and tropical systems research. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, Série Tecnologia Ambiental, 8, 1995: 32 pp.
- /8/ Kabata-Pendias, A.: Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, 4th edition, 2011: 520 pp.
- /9/ Urmínská, J., Porhajašová, J., Ondříšek, P., Petřvalský, V.: Riziko vplyvu ťažkých kovov medi a zinku v životnom prostredí Žiarskej kotliny. *Acta facultatis ecologiae*, 15, 2007: 29–35.
- /10/ Zákon č.220/2004 Z.z. O ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

## Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV č. 2/0027/13, APVV č. SK-CZ-0213-11 a MŠMT ČR č. projektu 7AMB12SK017.

## **POROVNANIE PRÍJMU KADMIA A KREMÍKA RASTLÍN KUKURICE (*ZEА MAYS L.*) KULTIVOVANÝCH V HYDROPÓNII A V *IN VITRO* PODMIENKACH**

### ***A COMPARATIVE STUDY USING HYDROPONIC AND IN VITRO CONDITIONS: THE CADMIUM AND SILICON UPTAKE BY MAIZE (*ZEА MAYS L.*) PLANTS***

Denis Líška, Zuzana Lukačová, Alexander Lux

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyziológie rastlín, Mlynská  
dolina, SK-842 15 Bratislava 4, liska.denis@gmail.com

#### ***Summary***

The objective of the present study was to assess the effect of Cd and/or Si on the chosen maize hybrid (Reduta) in relation to cadmium and silicon accumulation and translocation. The biomass accumulation was observed in the hydroponics and *in vitro* cultivated plants in control, Cd and Cd+Si treatment. The aim of the present study was to compare the growth, accumulation and translocation parameters of the hydroponically grown plants and plants cultivated on the solid media *in vitro*.

*Key words: cadmium, hydroponics, in vitro, silicon, Zea mays*

#### ***Súhrn***

Predmetom predloženej štúdie bolo sledovať pôsobenie Cd a/alebo Si na vybraný hybrid (Reduta) kukurice siatej (*Zea mays L.*) vo vzťahu k možnosti akumulácie a translokácie uvedených prvkov. Stanovili sme tiež akumuláciu biomasy v kontrole, Cd a Cd+Si variante v hydroponicky pestovaných rastlinách a v rastlinách kultivovaných v *in vitro* podmienkach. Cieľom práce bolo porovnanie rastových, akumulčných a translokačných parametrov rastlín rastúcich v podmienkach hydropónie s rastlinami na agarom spevnenom kultivačnom médiu.

*Kľúčové slová: hydropónia, in vitro, kadmium, kremík, Zea mays*

## **ÚVOD**

Jedným z najtoxickejších ťažkých kovov je kadmium. Prirodzený obsah Cd v pôde sa spravidla len minimálne odlišuje od jeho obsahu v materských horninách. Hlavným zdrojom vstupu Cd do zložiek životného prostredia je banský priemysel, spaľovanie fosílnych palív a komunálneho odpadu, tavenie sulfidov obsahujúcich Cd, emisie z energetického, metalurgického a chemického priemyslu, emisie z dopravy, aplikácia fosforečných hnojív s vysokým obsahom Cd, ako aj aplikácia kalov z čistiarní odpadových vôd. Rastliny prijímajú a akumulujú Cd v apoplazme alebo vo vakuolách s následnou možnosťou porušenia metabolizmu buniek rôznymi cestami.

Kremík nepatrí s výnimkou *Equisetaceae* a *Cyperaceae* medzi esenciálne prvky vyšších rastlín /4/. Epstein /5/ ho však zaraďuje medzi prospešné prvky, nakoľko rastliny bez Si vykazujú určité abnormality v raste. Schopnosť rastlín akumulovať tento prvok je rôzna. Typickými akumulátormi Si sú jednoklíčnolistové rastliny, v ktorých sa vyskytuje

v množstvách porovnatelných s makroelementmi. Dostupnosť Si pre rastliny je dôležitá z viacerých hľadísk, najmä v oblasti rastu, minerálnej výživy, mechanickej pevnosti, ale aj rezistencie na hubové ochorenia a herbivory. Významným prínosom Si je zvyšovanie rezistencie rastliny na pôsobenie rozličných ťažkých kovov v nadbytku /3, 11/. Množstvo štúdií sa zaoberá aj jeho interakciami s Cd /9, 13, 15/. Autori uvedených štúdií konštatujú zmiernenie prebiehajúceho stresu z Cd vplyvom Si, a to na rozličných úrovniach.

Kultivácia rastlín v podmienkach *in vitro* znamená okrem iného aj možnosť získať rastliny s pozmenenou anatómiou, morfológiou a fyziológiou /2, 7/. Počet prác venujúcich sa porovnaniu rastlín pestovaných v podmienkach hydroponie a *in vitro* je obmedzený. Pri 2 kultivároch zemiaka (*Solanum tuberosum* L.) pestovaných vo zvyšujúcej sa koncentrácii Cd pozorovali rozdiely suchých hmotností rastlín Cd variantu oproti kontrole v podmienkach *in vitro* /6/. Naopak, kultivary v podmienkach hydroponie nevykazovali rozdiely uvedeného produkčného parametra v Cd variante v porovnaní s kontrolou.

Cieľom práce bolo porovnať možnosti akumulácie a translokácie Cd rastlín kukurice pestovaných v podmienkach hydroponie, s rastlinami pestovanými v *in vitro* podmienkach na agarom spevnených médiách v Cd variante a/alebo Cd+Si variante.

## MATERIÁL A METÓDY

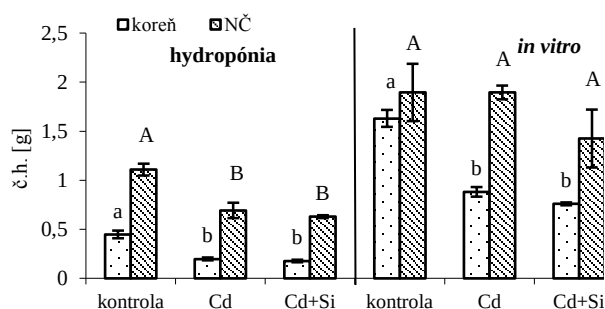
V práci sme používali zrná na Slovensku pestovaného hybridu Reduta kukurice siatej (*Zea mays* L.), ktoré dodala spoločnosť Sempol spol. s r.o. Rastliny sme pestovali v hydroponických podmienkach na 0,5 Knopovom živnom roztoku (pH 5,8) počas 7 dní alebo v *in vitro* kultivačných podmienkach na agarom spevnených modifikovaných MS médiách /10/ (pH 5,8; modifikácia: 0,5 mg.l<sup>-1</sup> kyselina nikotínová, 0,1 mg.l<sup>-1</sup> tiamín a 0,1 mg.l<sup>-1</sup> pyridoxín, 30 g.l<sup>-1</sup> sacharóza, 100 mg.l<sup>-1</sup> myo-inositol) počas 20 dní, v oboch prípadoch ako kontrolný, Cd (100 µM – Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O) alebo Cd+Si (100 µM + 5 mM Si – SiO<sub>2</sub> · NaOH) variant.

Odber v určený deň hydroponickej alebo *in vitro* kultivácie zahŕňal stanovenie rastových parametrov, suchej hmotnosti koreňov a nadzemnej časti rastlín. Obsah Cd a Si sme stanovili metódou AAS.

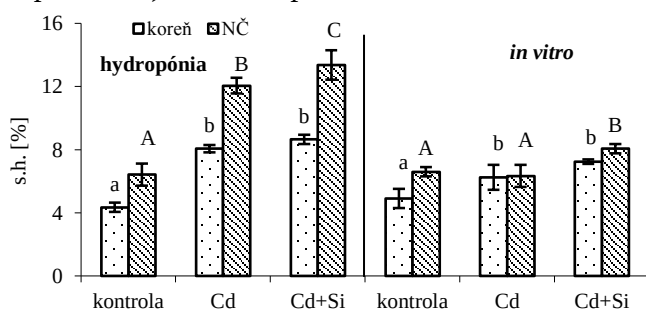
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Naměřené Negatívny vplyv Cd sa prejavil redukciou dĺžky seminálneho koreňa rastlín v hydroponii aj v *in vitro* podmienkach s výraznejším poklesom v Cd variante hydroponicky pestovaných rastlín. Rastliny z *in vitro* podmienok vykazovali vo všetkých variantoch vyššie čerstvé hmotnosti podzemnej i nadzemnej časti ako hydroponicky pestované rastliny (obrázok 1). V podmienkach hydroponie sme pozorovali preukaznú redukcii č. h. pri koreňoch aj nadzemných častiach rastlín, a to ako v Cd, tak i v Cd+Si variante v porovnaní s kontrolou. Pri *in vitro* pestovaných rastlinách sme preukazné zníženie č. h. pozorovali len pri koreňoch rastlín Cd a Cd+Si variantu porovnaní s kontrolou. Takmer vo všetkých prípadoch sme zaznamenali pokles percenta suchej hmotnosti rastlín z *in vitro* podmienok v porovnaní s hydroponicky pestovanými rastlinami (obrázok 2). V Cd ako aj Cd+Si variante hydroponicky pestovaných rastlín sme pozorovali podstatne vyššiu akumuláciu Cd v koreňoch, ako aj v nadzemnej časti rastlín v porovnaní s rastlinami z *in vitro*, pričom v oboch kultiváciách sa množstvo Cd akumulovaného v koreni vplyvom Si v Cd+Si variante

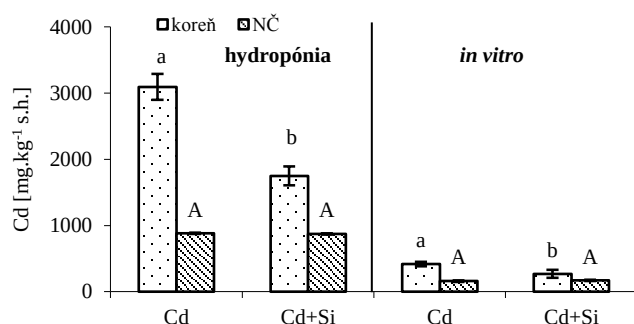
znížilo (obrázok 3). Miera translokácie Cd v Cd+Si variante v oboch kultiváciách sa mierne zvýšila v porovnaní s Cd variantom (tabuľka 1). Hydroponicky pestované rastliny akumulovali v koreňoch aj v nadzemných častiach vyššie množstvo Si ako rastliny z *in vitro* podmienok, pričom väčšina Si sa v hydroponii akumulovala v koreňoch. V *in vitro* podmienkach bolo, naopak, viac Si akumulovaného v nadzemných častiach rastlín (dáta neuvádzame).



Obrázok 1: Čerstvá hmotnosť koreňov a nadzemných častí (NČ) kukurice (hybrid Reduta) pestovaných v podmienkach hydroponie a *in vitro*. Rozdielne písmená znamenajú preukazný rozdiel medzi variantmi pri koreni (malé písmená) a NČ (veľké písmená) v rámci hydroponickej kultivácie a *in vitro* kultivácie. Hodnoty sú priemerom  $\pm$  SE 15 rastlín (3 opakovaní). Hladina preukaznosti 0,05.



Obrázok 2: Percento s. h. koreňov a nadzemných častí (NČ) kukurice (hybrid Reduta) pestovaných v podmienkach hydroponie a *in vitro*. Rozdielne písmená znamenajú preukazné rozdiely medzi variantmi pri koreni (malé písmená) a NČ (veľké písmená) v rámci hydroponickej kultivácie a *in vitro* kultivácie. Hodnoty sú priemerom  $\pm$  SE 15 rastlín (3 opakovaní). Hladina preukaznosti 0,05.



Obrázok 3: Obsah Cd v koreňoch a nadzemných častiach (NČ) rastlín kukurice (hybrid Reduta) pestovaných v podmienkach hydroponie a *in vitro*. Rozdielne písmená znamenajú preukazné rozdiely medzi variantmi pri koreni (malé písmená) a NČ (veľké písmená) v rámci hydroponickej kultivácie a *in vitro* kultivácie. Hodnoty sú priemerom  $\pm$  SE 15 rastlín (3 opakovaní). Hladina preukaznosti 0,05.

Redukcia rastu rastlín pestovaných v médiu kontaminovanom Cd je všeobecnou reakciou rastlín na toxicitu Cd. Tento ťažký kov pôsobí na viacerých biochemických a fyziologických úrovniach /12/. Dôsledkom je okrem iného aj znížený rast koreňa /9/ a znížené čerstvé hmotnosti rastlín /8/. Nižšie percento suchej hmotnosti rastlín v *in vitro* podmienkach vysvetľujú autori hromadením značného množstva vody v pletivách /2/. Koreň je, s výnimkou hyperakumulátorov /1/, hlavným miestom akumulácie Cd /14/, čo sme potvrdili aj v predloženej štúdii. Podobne ako /9/, aj my sme pozorovali mierne zvýšenie translokácie Cd vplyvom Si v Cd+Si variante v porovnaní s Cd variantom.

Tab. 1: Percento translokovaného Cd do nadzemnej časti rastlín z celkového obsahu kovu.

| Cd [%]          | Cd    | Cd+Si |
|-----------------|-------|-------|
| hydropónia      | 11,92 | 13,37 |
| <i>in vitro</i> | 15,30 | 16,58 |

## LITERATÚRA

- /1/ Baker, A. J. M.: Accumulators and excluders – Strategies in the responses of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3, 1981: 643-654.
- /2/ Bottcher, I., Zeglauer, K., Goring, H.: Inducting and reversion of vitrification of plants cultured in vitro. *Physiologia Plantarum*, 66, 1998: 94–98.
- /3/ da Cunha, K. P. V., do Nascimento, C. W. A.: Silicon effect on metal tolerance and structural changes maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. *Water, Air and Soil Pollution*, 197, 2009: 323-330.
- /4/ Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 91: 11-17.
- /5/ Epstein, E. 1999. Silicon. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
- /6/ Gonçalves, J. F., Golschmidt Antes, F., Maldaner, J., Belmonte Pereira, L., Alemri Tabaldi, L., Rauber, R., Rossato, L. V., Bisognin, D. A., Dressler, V. L., De Moraes Flores, E. M., Teixeira Nicoloso, F.: Cadmium and mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47, 2009: 814–821.
- /7/ Hazarika, B. N.: Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants. *Scientia Horticulturae*, 108, 2006: 105–120.
- /8/ Liang, Y., Wong, J., Wei, L.: Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere*, 58, 2005: 475-483.
- /9/ Lukačová Kuliková, Z., Lux, A.: Silicon influence on maize, *Zea mays* L., hybrids exposed to cadmium treatment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 85, 2010: 243-250.
- /10/ Murashige, T., Skoog, F.: A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 1962: 473-497.
- /11/ Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., He, Y., Qian, Q., Yu, J.: Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in *Cucumis sativus* in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. *Phytochemistry*, 66, 2005: 1551-1559.
- /12/ Šimonová, E., Henselová, M., Masarovičová, E., Kohanová, J.: Comparison of tolerance of *Brassica juncea* and *Vigna radiata* to cadmium. *Biologia Plantarum*, 51, 2007: 488-492.
- /13/ Vaculík, M., Landberg, T., Greger, M., Luxová, M., Stoláriková, M., Lux, A.: Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, 110, 2012: 433-443.
- /14/ Wójcik, M., Tukiendorf, A.: Cadmium uptake, localization and detoxification in *Zea mays*. *Biologia Plantarum*, 49, 2005: 237-245.
- /15/ Zhang, CH., Wang, L., Nie, Q., Zhang, W., Zhang, F.: Long – term effects of exogenous silicon on cadmium translocation and toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 62, 2008: 300-307.

## PodĎakovanie

Práca vznikla za finančnej podpory projektov: APPV-0140-10, VEGA 1/0817/12, COST FA 0905. Ďakujeme spoločnosti Sempol spol. s.r.o. za poskytnutie zŕn študovaného hybridu kukurice.

## **VÁPNIK ZMIERŇUJE TOXICKÝ VPLYV KADMIA NA NUTAČNÉ POHYBY KOREŇOV KUKURICE SIATEJ (*ZEА MAYS L.*)**

### ***CALCIUM ALLEVIATES CADMIUM TOXIC EFFECTS ON MAIZE ROOT NUTATION MOVEMENTS***

Milan Soukup, Michal Martinka

Katedra fyziológie rastlín, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina B2, 842 15 Bratislava, Slovenská Republika; soukup.em@gmail.com

#### ***Summary***

Apical parts of growing plant organs perform oscillatory movements around the growth vector called nutations. We focused on the effect of cadmium and calcium on maize root nutation movements. Roots were monitored in 4 different variants of hydroponic media under constant conditions. In Control variant containing distilled water, nutation amplitudes were relatively constant. In  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  variant amplitudes were reduced and tend to lessen. After 4-5 nutation cycles, growth of roots was ceased.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variant showed amplified nutation amplitudes compared to Control and no visible growth disturbances. In  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variant amplitudes were not as reduced as in  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , but they tend to lessen and ceased and growth of the root was slowed also. Nutation periods were slightly reduced in  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variants, but in  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  was the period reduction remarkable.

*Key words: cadmium, calcium, maize, nutation amplitude, nutation period, root nutations*

#### ***Súhrn***

Nutácie sú oscilačné pohyby rastúcich rastlinných orgánov okolo rastového vektora. V našej práci sme sledovali vplyv kadmia a vápniku na nutačné pohyby seminálnych koreňov kukurice, ktoré sme monitorovali v 4 variantoch hydroponického média v konštantných podmienkach. Kontrolný variant obsahujúci destilovanú vodu vykazoval relatívne konštantné amplitúdy pohybov. Vo variante  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  sa veľkosti amplitúd postupne zmenšovali a časom došlo k zastaveniu rastu koreňa. Amplitúdy variantu  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  boli zväčšené v porovnaní s kontrolou a nedošlo k žiadnym rastovým zmenám. Klesajúcu tendenciu amplitúd sme pozorovali vo variante  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , pokles však nebol tak výrazný ako pri  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , postupne došlo k spomaleniu rastu koreňa a pohyby sme nepozorovali. Perióda pohybov sa výrazne líšila iba vo variante  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , kde došlo k jej značnému skráteniu.

*Kľúčové slová: amplitúda nutácií, kadmium, koreňové nutácie, kukurica siata, perióda nutácií, vápnik*

## **ÚVOD**

Apikálne časti rastlinných orgánov počas svojho rastu vykonávajú oscilačné pohyby okolo rastového vektora nazývané nutačné pohyby [1]. Predpokladáme, že pomocou nich rastlina dokáže efektívnejšie interagovať s heterogénnym rozložením zdrojov vo svojom okolí a následne organizovať ďalší rast za účelom optimalizácie výživy. Parametre týchto pohybov



ovplyvňujú rôzne faktory prostredia, ako napríklad teplota, osvetlenie a prítomnosť rôznych chemikálií a varujú tiež v rámci druhov, ale aj orgánov jednej rastliny /2, 3/. Hypotetický model nutačných pohybov vysvetľuje pravidelné ohýbanie ako dôsledok asymetrického predlžovania buniek na protiľahlých stranách orgánu /3/.

V našich pokusoch sme sledovali účinky kadmia, ako toxického prvku ovplyvňujúceho transport vody v rastline a mechanické vlastnosti bunkovej steny /4, 5/, o ktorých predpokladáme, že zohrávajú kľúčovú úlohu pri vychýľovaní orgánu od osi rastu /3, 6/. Vápnik je v rastlinných bunkách veľmi dôležitou signálnou molekulou, podieľajúcou sa na regulácii množstva fyziologických procesov, a veľmi významnú úlohu zohráva tiež pri stresovej signalizácii /7, 8/. Keďže kadmium veľmi často ovplyvňuje fyziologické procesy regulované práve vápnikom, predpokladali sme, že interakcia týchto prvkov bude mať za následok zmiernenie toxických účinkov kadmia /8, 9/.

## MATERIÁL A METÓDY

Všetky experimenty sme vykonávali s klíčencami kukurice siatej (*Zea mays* L.), hybridom Valentína. Po 24 hodinovej imbibícii sme semená sterilizovali a kultivovali 48 hodín v rastovej komore, v tme pri konštantnej teplote 25,5 °C a vlhkosti vzduchu 70 %. Klíčence sme následne uchytili v polystyrénovom držiaku a umiestnili do hydroponického roztoku. Kultivácia a monitorovanie takto pripravených rastlín prebiehala pri stálej teplote 22 °C, konštantnom osvetlení o intenzite 10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  a 40 % vzdušnej vlhkosti. Monitorovanie primárnych seminálnych koreňov v rôznych variantoch hydroponického roztoku trvalo 12 hodín a prebiehalo v boxe rozmerov 600 x 400 x 400 mm.

V pokusoch sme využívali štyri varianty hydroponického média, pričom pH všetkých roztokov sme upravili na výslednú hodnotu 5,8. Kontrolný variant obsahoval iba destilovanú vodu,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  variant obsahoval roztok  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  vo výslednej koncentrácii 10  $\mu\text{M}$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variant obsahoval roztok  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ , taktiež vo výslednej koncentrácii 10  $\mu\text{M}$  a variant  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  bol zmesou roztokov  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  a  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ , pričom každá zložka sa nachádzala vo výslednej koncentrácii 10  $\mu\text{M}$ .

K monitorovaniu sme využívali digitálnu webkameru StarCam Racer (MSI, Taiwan, Čína) umiestnenú vo vzdialenosti 6 cm od špičky primárneho seminálneho koreňa. Snímkovanie sme vyhotovovali prostredníctvom programu Timershot (Microsoft) každých 180 sekúnd s rozlíšením snímok 1024 x 768 pixelov. Amplitúdy, uhly ohybu a periódy nutačných pohybov sme vyhodnocovali v programe Lucia (v. 4.8, LIM, Česká Republika) slúžiacom na analýzu digitálnych obrázkov.

Amplitúdy nutačných pohybov sme určovali ako vzdialenosť stredovej osi koreňa v oblasti 4000 – 6000  $\mu\text{m}$  od koreňovej špičky a k nej rovnobežnej dotýčnice koreňovej špičky. Uhol ohybu sme stanovili ako uhol zvieraný stredovými osami koreňa v oblastiach 0 – 750  $\mu\text{m}$  a 4000 – 6000  $\mu\text{m}$  od koreňovej špičky. Períodu nutačného cyklu sme merali ako čas, ktorý ubehol medzi dvomi amplitúdami rovnakej orientácie.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

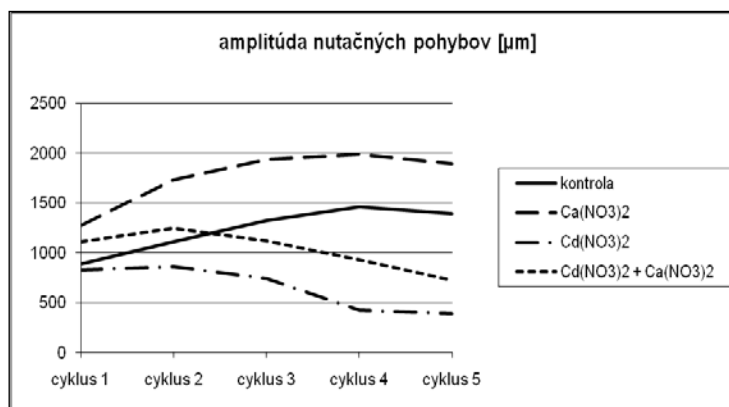
Nerovnomerné zväčšovanie buniek v rámci orgánu vyvoláva jeho ohýbanie /2/, čo rastlinám umožňuje priestorovo predchádzať rôznym stresovým podnetom a organizovať architektúru tela za účelom optimalizácie svojej výživy v daných podmienkach /10/. Nutacími pohybmi dochádza k oscilácii apikálnych častí rastlinných orgánov okolo

rastového vektora /1/. Predpokladáme, že vďaka nim dokáže rastlina efektívnejšie reagovať na stimuly z prostredia a následne podľa nich organizovať svoj rast. Zmeny objemov buniek pritom zabezpečuje transport vody riadený na základe osmotických pomerov a turgoru buniek /1, 6/.

V našich pokusoch sme sledovali zmeny nutačných pohybov primárneho seminálneho koreňa kukurice siatej (*Zea mays* L.) vystavených toxickým vplyvom kadmia /4, 5/. Keďže kadmium veľmi často pôsobí toxicky aj v procesoch regulovaných vápnikovou signalizáciou /9/, našim ďalším cieľom bolo zistiť, či je možné aspoň čiastočne zmierniť vplyv kadmia pridaním vápniku do hydroponického média.

Amplitúdy nutačných pohybov v kontrolnom variante dosahovali priemernú hodnotu  $1233,04 \pm 235,68 \mu\text{m}$ . V práci /11/ uvádzajú veľkosť amplitúd nutačných pohybov koreňov kukurice v rozmedzí 600 až  $1400 \mu\text{m}$ . V  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variante sme pozorovali zvýšenie priemernej hodnoty amplitúd na  $1763,15 \pm 292,51 \mu\text{m}$ . Relatívne vysoké amplitúdy nutačných pohybov v kontrolnom a  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variante môžu predstavovať reakciu koreňov na svetelný stres a uľahčiť vyhľadávanie vhodnejšieho substrátu /10, 12/. Zväčšenie amplitúd v  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  variante môže vyplývať zo zmierňujúcich účinkov vápniku voči pôsobeniu stresových faktorov a podporeniu procesov rastu bunkovej steny /13/. Vo variante  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  došlo k výraznému poklesu priemernej amplitúdy na hodnotu  $646,25 \pm 223,97 \mu\text{m}$ , pričom veľkosti amplitúd mali v priebehu monitorovania klesajúcu tendenciu, počas štvrtého až piateho cyklu zväčša korene zastavili svoj rast a následne rastliny odumreli. Zmenšenie amplitúd v porovnaní s kontrolným variantom je pravdepodobne spôsobené toxickými účinkami kadmia, a teda aj zvýšením rigidity bunkových stien a defektami regulácie transportov vody v bunkách /4, 14/. Vo variante  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  sme pozorovali zväčšenie amplitúd nutácií v porovnaní s variantom  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  na priemernú hodnotu  $1024,41 \pm 203,88 \mu\text{m}$ . Amplitúdy nutačných pohybov v tomto variante mali taktiež klesajúcu tendenciu a po štvrtom až piatom cykle došlo k ich zmenšeniu na nepozorovateľné hodnoty. Korene v tomto variante zväčša svoj rast neukončili, rýchlosť predlžovania však bola veľmi malá a zväčša nedošlo k odumretiu rastlín. Predpokladáme, že dôsledkom pridanía vápniku do média sa zmiernila kompetitívna inhibícia vápnikovej signalizácie kadmio a taktiež jeho toxický vplyv /8, 9/. Zmenšenie nutačných pohybov a spomalenie rastu koreňa je pravdepodobne dôsledkom pretrvávajúcich toxických vplyvov kadmia a zvýšeného osmotického potenciálu média. Priebeh amplitúd prvých piatich nutačných cyklov v jednotlivých variantoch je znázornený na grafe 1.

Periód a nutačných pohybov primárnych seminálnych koreňov kukurice sa medzi jednotlivými variantmi s výnimkou  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  veľmi výrazne nelíšila. V kontrolnom variante bola priemerná hodnota periódy nutačného cyklu  $89,4 \pm 16,9$  minúty. Práca /11/ uvádza hodnotu periódy pri koreňoch kukurice  $85,2$  minúty. Vo variante  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  dosahovala perióda hodnotu  $83,1 \pm 13,2$  minúty. Zistené hodnoty z variantu  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  vykazovali skrátenie periódy na  $65,71 \pm 16,9$  minúty, čo môže byť dôsledok kadmiovej toxicity zvyšujúcej rýchlosť dozrievania buniek /4/. Vo variante  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  sme pozorovali opätovné predĺženie periódy na  $85,7 \pm 12,7$  minúty. Zmenšenie periódy pohybov v jednotlivých variantoch môže byť spôsobené zvýšeným osmotickým potenciálom hydroponických médií, ktoré môže vyvolávať zvýšenie rýchlosti delenia buniek /15/.



Graf 1: Priebeh amplitúd nutačných pohybů v jednotlivých variantoch počas prvých 5 cyklov.

## LITERATÚRA

- /1/ Kutschera, U., Niklas, K.J.: Evolutionary plant physiology: Charles Darwin's forgotten synthesis. *Naturwissenschaften*, 96, 2009: 1339-1354.
- /2/ Stolarz, M.: Circumnutation as a visible plant action and reaction. *Plant Signaling and Behavior*, 4, 2009: 380-387.
- /3/ Someya, N., Niinuma, K., Kimura, M., Yamaguchi, I., Hamamoto, H.: Circumnutation of *Arabidopsis thaliana* L. inflorescence stems. *Biologia Plantarum*, 50, 2006: 287-290.
- /4/ Lux, A., Martinka, M., Vaculík, M., White, P.J. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of Experimental Botany*, 62, 2011: 21-37.
- /5/ Wan, L., Zhang, H.: Cadmium toxicity: Effects on cytoskeleton, vesicular trafficking and cell wall construction. *Plant Signaling & Behavior*, 7, 2012: 1-4.
- /6/ Schopfer, P.: Biomechanics of plant growth. *American Journal of Botany* 93, 2006: 1415-1425.
- /7/ Lautner, S., Fromm, J.: Calcium-dependent physiological processes in trees. *Plant Biology*, 12, 2010: 268-274.
- /8/ Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A., Forestier, C.: Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *The Plant Journal*, 32, 2002: 539-548.
- /9/ Farzadfar, S., Zarinkamar, F., Modarres-Sanavy, S.A.M., Hojati, M.: Exogenously applied calcium alleviates cadmium toxicity in *Matricaria chamomilla* L. plants. *Environmental Science and Pollution Research (international)*: 10.1007/s11356-012-1181-9
- /10/ McNickle, G.G., Cahill, J.F.: Plant root growth and the marginal value theorem. *Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America*, 106, 2009: 4747-4751.
- /11/ Spurný, M., Koutná, R., Čížková, R., Konečná, D.: Growth and nutation parameters of primary root of pedunculated oak (*Quercus robur* L.). *Biologia Plantarum*, 20, 1978: 167-172.
- /12/ Baluška, F., Mancuso, S., Volkmann, D., Barlow, P.W.: The 'root-brain' hypothesis of Charles and Francis Darwin: Revival after more than 125 years. *Plant Signaling and Behavior*, 4, 2009: 1121-1127.
- /13/ Hamant, O., Traas, J. The mechanics behind plant development. *New Phytologist*, 185, 2010: 369-385.
- /14/ Vaculík, M., Lux, A., Luxová, M., Tanimoto, E., Lichtscheidl, I.: Silicon mitigates cadmium inhibitory effects in young maize plants. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 2009: 52-58.
- /15/ Čiamporová, M., Luxová, M.: The effect of polyethylene glycolinduced water stress on the maize root apex. *Biologia Plantarum*, 18, 1976: 173-178.

## Pod'akovanie

Práca bola podporovaná grantmi: 1/0817/12 zo Slovenskej grantovej agentúry VEGA, Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0140-10. a COST FA 0905 z Rámcového programu Európskej únie, ktorým by som chcel touto cestou poďakovať.

## **PRIMÁRNÍ VLIV HNOJENÍ ČISTÍRENSKÝMI KALY NA OBSAH Cd, Pb, A Zn VE LNU SETÉM. -**

### ***PRIMARY THE INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE FERTILIZATION ON THE CONTENT OF Cd, Pb, AND Zn IN THE FLAX AND LINSEED. -***

Marie Bjelková, Martina Větrovcová, Miloslav Griga  
Agritec Plant Research s.r.o., Zemědělská 16, 787 01 Šumperk, bjelkova@agritec.cz

#### ***Summary***

Experiments were carried out in simulated natural conditions with variations of graded mixture of sewage sludge and soils. Sewage sludge sedimentation was added into the weighed quantity of soil in the proportions: sludge - soil = 1:2 (var. K1), 1:3 (var. K2), 1:4 (var. K3), 1:5 (var. K4), 1:6 (var. K5). Control variant (K0) without the presence of sewage sludge has also been sown with all varieties. Studied crop were the varieties of flax and linseed. Flax and linseed varieties variously accumulated particular metallic elements, the highest concentrations were recorded for Zn, followed by the Pb and Cd. The lowest concentrations of Cd and Pb were analyzed in the seed ( $0.121 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) and the highest concentrations of Cd and Pb were detected in the stem ( $\text{Cd} = 0.396 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) and capsules ( $\text{Pb} = 1.881 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). The highest concentration of Zn was found in the capsule ( $115.015 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) and lowest in the root ( $33.782 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Trend of accumulation of Cd was: stem>capsule>root>seed, Pb: capsule>stem>root>seed, Zn: capsule >seed>root>stem.

*Key words: Linum usitatissimum L., flax, linseed, cadmium, lead, zinc*

#### ***Souhrn***

Experimenty, které sledovaly případné využití odpadních kalů jako zdroje pro hnojení rostlin, byly provedeny v simulovaných přirozených podmínkách s variantami směsi odpadních kalů a zeminy v poměru: kal - půda = 1:2 (var. K1), 01:03 (var. K2), 1:4 (var. K3), 01:05 (var. K4), 1:6 (var. K5). Kontrolní varianta (K0) bez přítomnosti kalu byla také oseta všemi odrůdami. Studovanou plodinou byly odrůdy přadného a olejného lnu. Jednotlivé odrůdy přadného a olejného lnu různě kumulovaly konkrétní těžké kovy, nejvíce Zn, dále pak Pb a Cd. Nejnižší koncentrace Cd a Pb byly analyzovány v semeni ( $0,121 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a nejvyšší koncentrace Cd a Pb byly zjištěny ve stonku ( $\text{Cd} = 0,396 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a tobolky ( $\text{Pb} = 1,881 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Nejvyšší koncentrace Zn byly zjištěny v plevách ( $115,015 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a nejnižší v kořeni ( $33,782 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Trend akumulace Cd byl: stoněk > plevy > kořen > semeno, Pb: plevy > stoněk > kořen > semeno, Zn: plevy > semeno > kořen > stoněk.

*Klíčová slova: Linum usitatissimum L., přadný len, olejný len, kadmium, olovo, zinek*

## **ÚVOD**

Čistírenské kaly (sedimenty) jsou produktem procesu čištění odpadních vod, průmyslových, chemických odpadů, domácností atd. Kal může být považován za nebezpečný odpad, který vyžaduje nákladný postup likvidace, nebo může být vnímán jako zdroj živin pro použití na zemědělskou půdu /6/. Čistírenské kaly jsou bohaté na organické a anorganické živiny, ale jejich nevýhodou je přístupnost (možnost absorpce) toxických kovů (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) do pěstovaných plodin /1, 2/, přičemž se koncentrace těžkých kovů v substrátu po přidání kalů z čistíren odpadních vod se zásadně nezmění, ale mobilní frakce Cd, Cu, Zn v substrátu jsou výrazně zvýšeny. Stejně velké rozdíly byly zjištěny v přenosu těžkých kovů mezi půdou a rostlinami. Také další autoři zjistili, že při hnojení půd čistírenskými kaly

došlo k přísunu podstatného množství kadmia a olova do půdy, z něhož pak sklizní plodin byla odčerpána jen malá část /7/. Riziko hromadění těžkých kovů v půdě je při případném vyšším obsahu těžkých kovů, značné. Biologická dostupnost těžkých kovů není v přímé korelaci s jejich celkovou koncentrací v kalu ani v půdě a je dána hlavně půdními vlastnostmi /7, 1, 2/. Kovy pocházející z aplikace čistírenských kalů na půdu jsou akumulovány převážně v povrchových vrstvách půdy a jejich mobilita v půdě závisí hlavně na chemických a fyzikálních vlastnostech systému kal – půda /1, 2/. Pro aplikaci upravených čistírenských kalů na zemědělskou půdu musí dodrženy mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků a na zemědělskou půdu mohou být použity pouze kaly vyhovující mezním hodnotám stanovených vyhláškou č. 382/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů č. 504/2004 Sb., přičemž limitní koncentrace v čistírenských kálech jsou: Cd 5 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny, Cu 500 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny, Pb 200 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny, Zn 2500 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny, As 30 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny, Cr 200 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny a Ni 100 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Proto znalost adaptace plodin na kontaminovaných lokalitách a jejich potenciální schopnost kumulovat těžké kovy ve sklizených částech rostlin může být velmi důležitým poznatkem pro budoucí fytořediační aplikace.

## MATERIÁL A METODY

Experimenty v tříleté repetici byly prováděny na lokalitě Šumperk s nadmořskou výškou 329 m ve vegetačním období duben až srpen. Vegetační doba jednotlivých roků byla charakteristická průměrnou měsíční teplotou 8,3 – 20,5 °C, maximální teplota byla v rozmezí 20,4 – 35,2 °C a minimální -6,0 °C a 8,0 °C. Celkové množství srážek za uvedené období činilo 297,5; 365,7 a 247,5 mm oproti dlouhodobému průměru (339,5 mm). Bylo testováno 20 odrůd přadného a olejného lnu (*Linum usitatissimum* L) ze Společného katalogu odrůd druhů zemědělských rostlin (Jitka, Laura, Viola, Merkur, Venica, Hermes, Jordán, Escalina, Viking, Tábor, Bonet, Agatha, Super, Marilyn, Ilona, Elektra, Atalante, Flanders, Lola, Biltstar). Experimenty simulovaly přirozené polní podmínky a byly vedeny ve speciálních plastových nádobách zapuštěných do země. V pokusu byla využita půda charakterizovaná v tabulce 1 a představovala kontrolní variantu (kontrola). Další varianty byly směsí půdy a čistírenských kalů s obsahovým množstvím uvedeným v tabulce 2 a v objemových a hmotnostních poměrech uvedených v tabulce 3. Hustota výsevu byla ekvivalentní k výsevu v provozních podmínkách. Ve fázi plné zralosti byly rostliny sklizeny a rostliny byly separovány na části rostlin (kořen, stonek, plevy, semena). Následně byly vzorky rostlinných částí analyzovány na obsah Cd a Pb v sušině (mg Cd/Pb.kg<sup>-1</sup> sušiny) pomocí AAS a výsledná data byla zpracována pomocí statistického programu Statistica.

Tab. 1: Chemické složení půdy

| pH/CaCl <sub>2</sub> |                     | K   | P  | Mg  | Ca   | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>3</sub> | Cd   | Pb   | Zn   |
|----------------------|---------------------|-----|----|-----|------|-------------------|-------------------|------|------|------|
| 6,75                 | mg kg <sup>-1</sup> | 171 | 73 | 201 | 2047 | 3,89              | 6,5               | 0,25 | 32,8 | 56,4 |

Tab. 2: Chemické složení použitého sedimentačního kalu I.

|      | mg.kg <sup>-1</sup> sušiny |     |     |      |     |      |     |     | %   | mg.kg <sup>-1</sup> sušiny |                   | g.kg <sup>-1</sup> sušiny |      |      |      |
|------|----------------------------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|----------------------------|-------------------|---------------------------|------|------|------|
| pH   | Pb                         | Cd  | Cu  | Zn   | Cr  | Ni   | As  | Hg  | N   | N-NH <sub>4</sub>          | N-NO <sub>3</sub> | P                         | Ca   | Mg   | K    |
| 8,05 | 57,6                       | 1,7 | 198 | 1250 | 155 | 28,1 | 4,3 | 1,9 | 4,8 | 9410                       | 49,9              | 28                        | 33,3 | 6,27 | 5,05 |

Tab. 3: Tabulka poměrů směsí čistírenských kalů a půdy

| Objemový (hmotnostní poměr)<br>kal:půda | 1:2<br>(1:2,4) | 1:3<br>(1:3,8) | 1:4<br>(1:5,1) | 1:5<br>(1:6,3) | 1:6<br>(1:7,6) |
|-----------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|-----------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Do rostlin lnu byl komplexně nejvíce absorbován Zn (15,51 - 375,2 mg.kg<sup>-1</sup>sušiny), následně Pb (0,01 - 5,85 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny) a nejméně Cd (0,007 až 5,22 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny). Jednotlivé studované kovy byly různě kumulovány do orgánů obou typů lnů. Čistírenské kaly ovlivnily množství Cd ve všech orgánech přadného lnu. Obsah olova a zinku v orgánech přadného a olejného lnu kolísal v jednotlivých variantách a nevykazoval signifikantní vzrůstající tendenci s rostoucím obsahem kalu v půdě, podobně jako někteří autoři /3/. Podle vzájemného hodnocení koncentrace těžkých kovů v různých orgánech byla nejvyšší kumulace Cd zjištěna ve stonku, Pb a Zn v plevách. Naopak, nejnižší koncentrace Cd a Pb byla zjištěna v semeni a kořen kumuloval nejméně Zn. Kadmium bylo více kumulováno v odrůdách olejného lnu na rozdíl od olova a zinku, které byly více absorbovány odrůdami přadných lnů. Varianta s nejvyšším obsahem kalů 1K významně ( $P \geq 0,05$ ) absorbovala kadmium do všech orgánů oproti kontrolní variantě (tabulka 4). Zjištěné množství Cd indikovalo trend akumulace ve směru stonek>plevy>kořen>semeno, podobně jako práce některých zahraničních autorů /4, 8, 9, 10/, jimž akumulace Cd klesala v termínu sklizně trendem: stonek>semeno. Transport Pb v orgánech lnů klesal ve směru plevy>stonek>kořen>semeno. Koncentrace Pb v kořeni byla vyrovnaná ve všech variantách obohacených kaly, ale byla průkazně ( $P \geq 0,05$ ) nižší oproti kontrole, ale v semeni měla zcela opačnou tendenci, ve stonku a plevách byla kolísavá. Trend akumulace Zn (plevy >semeno>kořen>stonek) vykazoval nejvyšší koncentraci kovu v plevách, mezi jednotlivými variantami obohacené půdy byl vyrovnaný a neprůkazně vyšší v kontrolní variantě. Obsah Zn ve stonku vykazoval variabilitu v jednotlivých variantách s průkazně nejvyšším obsahem u kontroly a naopak Zn akumulovaný v kořeni vykazoval průkazný ( $P \geq 0,05$ ) vliv u variant s vyšším obsahem kalů. Studium koncentrace Zn v semeni byl zjištěn signifikantně ( $P \geq 0,05$ ) narůstající obsah prvku se zvyšováním množství kalů v zemině. Tab. 4 reprezentuje celkovou akumulaci těžkých kovů, tzv. odběrový faktor plodinou na jednotku plochy (g.ha<sup>-1</sup>). Biomasa nadzemní hmoty oproti celkové hmotě plodiny bylo odčerpáno 89 % Cd, 85 % Pb a 91 % Zn. Odběrový faktor všech tří prvků byl nejvyšší u stonku (průměr 2.176 g Cd.ha<sup>-1</sup>, 4.053 g Pb.ha<sup>-1</sup> a 170,369 g Zn.ha<sup>-1</sup>). Odrůdy olejného lnu (mimo kořene) odčerpaly větší množství Cd, naopak odrůdy přadných lnů (mimo plev a semene) odčerpaly více Pb a Zn. Z výsledných analýz byly zjištěny trendy odběru jednotlivými orgány lnů: Cd=stonek>kořen>plevy>semeno, Pb=stonek>plevy>kořen>semeno, Zn= stonek>plevy>semeno>kořen. Všechny studované části lnů průkazně odčerpaly ( $P \geq 0,05$ ) Cd ve variantách s vyšším obsahem kalů v zemině a podobná tendence byla zjištěna také u Zn, ale mimo plev. Pb bylo průkazně více ( $P \geq 0,05$ ) odčerpáno pouze u varianty s nejvyšším obsahem kalů a jenom kořenovou částí. K podobným závěrům došli i další autoři /4, 5/. Výsledky ukázaly, že jednotlivé odrůdy přadného a olejného lnu mají různou schopnost akumulovat těžké kovy z půdy. Například olejný len odrůda Flanders vykazovala nejvyšší koncentraci Cd v kořeni, plevách a semeni, ale průkazně ( $P \geq 0,05$ ) vyšší koncentrace Pb byla zjištěna pouze v semeni. Přadný len Jitka naopak Pb zase více absorboval do stonku a plev. Zajímavý byl fakt, že nejvyšší koncentrace Zn byly vždy nalezeny u odrůd přadných lnů, ale výpočtem odběrového faktoru byl zjištěn nejvyšší odběr kořenem a stonkem pouze u odrůdy přadného lnu Jordán (kořen: 40,191 g ha<sup>-1</sup>, stonek: 238,298 g ha<sup>-1</sup>), ale odběrový faktor plev byl vyšší u odrůdy olejného Biltstar (145,187 g ha<sup>-1</sup>) a v případě semene to byla odrůda olejného lnu Atalante (105,443 g ha<sup>-1</sup>). Odrůda přadného lnu Jordán tak představuje nejvyšší akumulační potenciál Pb ve stonku (5,812 g ha<sup>-1</sup>), odrůda olejného lnu Atalante v kořeni (1,435 g Pb.ha<sup>-1</sup>), odrůda olejného lnu Biltstar v plevách (2,414 g Pb.ha<sup>-1</sup>) a odrůda olejného lnu Flanders v semeni (1,028 g Pb.ha<sup>-1</sup>). Olejný len Flanders měl i vyšší odběrový potenciál Cd v semeni (0,234 g ha<sup>-1</sup>). Stonek a plevy odčerpali více Cd olejným lnem Biltstar (3,986 g ha<sup>-1</sup>, 0,573 g ha<sup>-1</sup>). Vzhledem k výsledným datům (odběr kadmia a olova z jednotky plochy za vegetační období) byl zjištěn jen velmi malý podíl

odstraněného kovu. Tyto výsledky potvrzují i /7/ v experimentech s dalšími zemědělskými plodinami a doplňují své výsledky tvrzením, že riziko akumulace Cd v půdě je vysoké, zejména s opakovanými aplikacemi kalů. Sledováním studovaných těžkých kovů v průběhu roku byl zjištěn různý průkazný ( $P \geq 0,05$ ) vliv na jejich koncentraci a akumulaci do částí rostliny lnu.

Tab. 4: Příjem/akumulace těžkých kovů Cd, Pb a Zn ( $\text{mg Cd, Pb, Zn kg}^{-1}$  sušiny;  $\text{g Cd, Pb, Zn ha}^{-1}$ ) v orgánech přadného a olejného lnu z půd obohacených odpadními kaly (data pro 20 odrůd přadného a olejného lnu, analýza variance)

|          |    | Kořen                  | Stonek               | Plevy                | Semen               | Kořen                 | Stonek                | Plevy                | Semen               |
|----------|----|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
|          |    | $\text{mg Cd.kg}^{-1}$ |                      |                      |                     | $\text{g Cd.ha}^{-1}$ |                       |                      |                     |
| 1K = 1:2 |    | 0,376 <sup>b</sup>     | 0,566 <sup>c</sup>   | 0,535 <sup>c</sup>   | 0,164 <sup>e</sup>  | 0,420 <sup>b</sup>    | 3,972 <sup>b</sup>    | 0,428 <sup>c</sup>   | 0,147 <sup>c</sup>  |
| 2K = 1:3 |    | 0,323 <sup>a</sup>     | 0,444 <sup>bc</sup>  | 0,514 <sup>bc</sup>  | 0,154 <sup>de</sup> | 0,312 <sup>a</sup>    | 2,489 <sup>a</sup>    | 0,414 <sup>c</sup>   | 0,166 <sup>c</sup>  |
| 3K = 1:4 |    | 0,313 <sup>a</sup>     | 0,375 <sup>ab</sup>  | 0,409 <sup>b</sup>   | 0,128 <sup>cd</sup> | 0,297 <sup>a</sup>    | 1,960 <sup>a</sup>    | 0,321 <sup>b</sup>   | 0,130 <sup>bc</sup> |
| 4K = 1:5 |    | 0,309 <sup>a</sup>     | 0,335 <sup>ab</sup>  | 0,285 <sup>a</sup>   | 0,111 <sup>bc</sup> | 0,288 <sup>a</sup>    | 1,560 <sup>a</sup>    | 0,216 <sup>a</sup>   | 0,123 <sup>bc</sup> |
| 5K = 1:6 |    | 0,302 <sup>a</sup>     | 0,296 <sup>a</sup>   | 0,265 <sup>a</sup>   | 0,092 <sup>ab</sup> | 0,312 <sup>a</sup>    | 1,447 <sup>a</sup>    | 0,220 <sup>a</sup>   | 0,088 <sup>ab</sup> |
| Control  |    | 0,298 <sup>a</sup>     | 0,362 <sup>ab</sup>  | 0,263 <sup>a</sup>   | 0,074 <sup>a</sup>  | 0,279 <sup>a</sup>    | 1,627 <sup>a</sup>    | 0,224 <sup>a</sup>   | 0,056 <sup>a</sup>  |
|          |    | Kořen                  | Stonek               | Plevy                | Semen               | Kořen                 | Stonek                | Plevy                | Semen               |
|          |    | $\text{mg Pb.kg}^{-1}$ |                      |                      |                     | $\text{g Pb.ha}^{-1}$ |                       |                      |                     |
| 1K = 1:2 |    | 1,135 <sup>a</sup>     | 0,929 <sup>ab</sup>  | 1,699 <sup>a</sup>   | 0,573 <sup>b</sup>  | 1,247 <sup>bc</sup>   | 6,065 <sup>b</sup>    | 1,469 <sup>a</sup>   | 0,606 <sup>b</sup>  |
| 2K = 1:3 |    | 1,045 <sup>a</sup>     | 0,886 <sup>ab</sup>  | 1,716 <sup>ab</sup>  | 0,657 <sup>b</sup>  | 0,984 <sup>ab</sup>   | 4,082 <sup>a</sup>    | 1,345 <sup>a</sup>   | 0,785 <sup>b</sup>  |
| 3K = 1:4 |    | 1,037 <sup>a</sup>     | 0,887 <sup>ab</sup>  | 1,713 <sup>ab</sup>  | 0,612 <sup>b</sup>  | 0,911 <sup>a</sup>    | 3,864 <sup>a</sup>    | 1,399 <sup>a</sup>   | 0,685 <sup>b</sup>  |
| 4K = 1:5 |    | 1,067 <sup>a</sup>     | 0,832 <sup>ab</sup>  | 1,982 <sup>b</sup>   | 0,593 <sup>b</sup>  | 0,954 <sup>ab</sup>   | 3,312 <sup>a</sup>    | 1,526 <sup>a</sup>   | 0,695 <sup>b</sup>  |
| 5K = 1:6 |    | 1,103 <sup>a</sup>     | 0,748 <sup>a</sup>   | 2,271 <sup>c</sup>   | 0,547 <sup>b</sup>  | 1,009 <sup>ab</sup>   | 3,408 <sup>a</sup>    | 1,860 <sup>b</sup>   | 0,655 <sup>b</sup>  |
| Control  |    | 1,574 <sup>b</sup>     | 0,901 <sup>b</sup>   | 1,907 <sup>ab</sup>  | 0,328 <sup>a</sup>  | 1,480 <sup>c</sup>    | 3,587 <sup>a</sup>    | 1,645 <sup>ab</sup>  | 0,237 <sup>a</sup>  |
|          |    | Kořen                  | Stonek               | Plevy                | Semen               | Kořen                 | Stonek                | Plevy                | Semen               |
|          |    | $\text{mg Zn.kg}^{-1}$ |                      |                      |                     | $\text{g Zn.ha}^{-1}$ |                       |                      |                     |
| 1K = 1:2 |    | 37,893 <sup>b</sup>    | 39,085 <sup>c</sup>  | 117,638 <sup>a</sup> | 74,811 <sup>b</sup> | 37,753 <sup>b</sup>   | 201,409 <sup>b</sup>  | 95,831 <sup>a</sup>  | 70,388 <sup>b</sup> |
| 2K = 1:3 |    | 36,266 <sup>b</sup>    | 35,804 <sup>ab</sup> | 112,596 <sup>a</sup> | 74,131 <sup>b</sup> | 31,369 <sup>a</sup>   | 169,973 <sup>ab</sup> | 91,689 <sup>a</sup>  | 69,161 <sup>b</sup> |
| 3K = 1:4 |    | 36,321 <sup>b</sup>    | 36,389 <sup>bc</sup> | 109,012 <sup>a</sup> | 74,229 <sup>b</sup> | 30,925 <sup>a</sup>   | 159,728 <sup>a</sup>  | 87,910 <sup>a</sup>  | 67,894 <sup>b</sup> |
| 4K = 1:5 |    | 32,193 <sup>a</sup>    | 34,010 <sup>ab</sup> | 116,041 <sup>a</sup> | 70,867 <sup>b</sup> | 28,795 <sup>a</sup>   | 139,656 <sup>a</sup>  | 91,797 <sup>a</sup>  | 65,107 <sup>b</sup> |
| 5K = 1:6 |    | 30,925 <sup>a</sup>    | 32,759 <sup>a</sup>  | 116,468 <sup>a</sup> | 71,595 <sup>b</sup> | 29,846 <sup>a</sup>   | 151,355 <sup>a</sup>  | 101,151 <sup>a</sup> | 68,433 <sup>b</sup> |
| Control  |    | 29,092 <sup>a</sup>    | 46,713 <sup>d</sup>  | 118,333 <sup>a</sup> | 61,426 <sup>a</sup> | 27,559 <sup>a</sup>   | 200,091 <sup>b</sup>  | 99,684 <sup>a</sup>  | 42,769 <sup>a</sup> |
|          |    | Kořen                  | Stonek               | Plevy                | Semen               | Kořen                 | Stonek                | Plevy                | Semen               |
|          |    | $\text{mg.kg}^{-1}$    |                      |                      |                     | $\text{g.ha}^{-1}$    |                       |                      |                     |
| Flax     | Cd | 0,321 <sup>a</sup>     | 0,377 <sup>a</sup>   | 0,368 <sup>a</sup>   | 0,113 <sup>a</sup>  | 0,328 <sup>a</sup>    | 2,168 <sup>a</sup>    | 0,268 <sup>a</sup>   | 0,098 <sup>a</sup>  |
| Linseed  |    | 0,318 <sup>a</sup>     | 0,474 <sup>a</sup>   | 0,420 <sup>a</sup>   | 0,153 <sup>b</sup>  | 0,280 <sup>a</sup>    | 2,220 <sup>a</sup>    | 0,447 <sup>b</sup>   | 0,199 <sup>b</sup>  |
| Flax     | Pb | 1,141 <sup>a</sup>     | 0,867 <sup>a</sup>   | 1,918 <sup>a</sup>   | 0,542 <sup>a</sup>  | 1,099 <sup>a</sup>    | 4,405 <sup>b</sup>    | 1,467 <sup>a</sup>   | 0,542 <sup>a</sup>  |
| Linseed  |    | 1,235 <sup>a</sup>     | 0,851 <sup>a</sup>   | 1,732 <sup>a</sup>   | 0,590 <sup>a</sup>  | 1,092 <sup>a</sup>    | 2,644 <sup>a</sup>    | 1,836 <sup>b</sup>   | 0,884 <sup>b</sup>  |
| Flax     | Zn | 33,978 <sup>a</sup>    | 37,343 <sup>a</sup>  | 114,099 <sup>a</sup> | 72,047 <sup>b</sup> | 32,047 <sup>b</sup>   | 183,420 <sup>b</sup>  | 89,578 <sup>a</sup>  | 59,603 <sup>a</sup> |
| Linseed  |    | 32,997 <sup>a</sup>    | 37,928 <sup>a</sup>  | 118,679 <sup>a</sup> | 67,695 <sup>a</sup> | 27,018 <sup>a</sup>   | 118,162 <sup>a</sup>  | 115,072 <sup>b</sup> | 81,381 <sup>b</sup> |

## LITERATURA

- 1/ Maxted, A. P., Black, C. R., West, H. M., Crout, N. M. J., McGrath, S. P., Young, S. D.: Phytoextraction of cadmium and zinc from arable soils amended with sewage sludge using *Thlaspi coerulescens*: development of a predictive model. Environ. Pollut. 150, 2007: 363-372.
- 2/ McGrath, S. P., Zhao, F. J., Chaudri, A. M.: Bioavailability of heavy metals from sewage sludge and some long-term effects on soil microbes in agricultural ecosystems. In: Irradiated sewage sludge for application to cropland. IAEA, Vienna, 2002: 199-216.
- 3/ Balík, J., Tlustoš, P., Száková, J., Pavlíková, D., Černý, J.: The accumulation of zinc in oat grown in soils treated by incubated sewage sludge with peat and straw. Rostlinná výroba, 48, 2002: 548-555. /4/ Jiao, you; grant, cyndia a.; bailey, loraine d.: "Effects of phosphorus and zinc fertilizer on cadmium uptake and distribution in flax and durum wheat". Journal of the Science of Food and Agriculture 84, 2004: 777-785.

- /5/ Piotrowska-Cyplik, A., Czarnecki, Z.: Phytoextraction of Pb, Cr and Cd by hemp during sugar industry anaerobic sewage sludge treatment. *EJPAU* 8, 2005.
- /6/ Ololade, I. A.: Prediction of extractable metals (Cd, Pb, Fe, Cu, Mn and Zn) in sewage. *Electronic Journal of Environmental, agricultural and Food Chemistry - EJEAFChe*, 9, 2010: 425-435.
- /7/ Čásová, K., Černý, J., Tlustoš, P., Száková, J., Balík, J.: Simple cadmium and lead balance in soil under sewage sludge treatment. s. 23, Mendelnet 29.11.2006, Brno, 2006: 141s.
- /8/ Watson, J. E., Pepper, I. L., Unger, M., Fuller, W. H.: Yields and leaf elemental composition of cotton grown on sludge amended soil. *J. Environ. Qual.* 14, 1985: 174-177.
- /9/ Tlustos, P., Pavlikova, D., Balík, J., Szakova, J., Hanc, A., Balikova, M.: The accumulation of arsenic and cadmium in plants and their distribution. *Rostlinná Výroba*, 44, 1998: 463-469.
- /10/ Helmke, P. A.: Chemistry of Cadmium in Soil Solution. In: McLAUGHLIN M.J, SINGH B.R., 1999: Cadmium in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1999: 39 – 58.
- /11/ Vyhláška č. 382/200Sb. Ministerstva životního prostředí ze dne 17. října 2001 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.
- /12/ Vyhláška č. 504/2004 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

### **Poděkování**

Tato práce byla finančně podporována MŠMT v rámci řešení projektů NPV II 2B08039 a COST 905 LD11053.



## **VÝZNAM *IN VITRO* KULTÚR PRI ŠTÚDIU ÚČINKOV ŤAŽKÝCH KOVOV**

### ***IMPORTANCE OF *IN VITRO* CULTURES IN THE STUDY THE EFFECT OF HEAVY METALS***

Martin Cárach, Terézia Salaj

Ústav genetiky a biotechnológií rastlín Slovenskej akadémie vied, Akademická 2, 950 07 Nitra, Slovenská republika, martin.carach@savba.sk

#### ***Summary***

Somatic embryogenesis is the process of development of embryo (or embryo-like structures), without fusion of gametes from somatic cells or from plant tissues in *in vitro* conditions. Somatic embryos undergo similar morphological, structural and physiological stages of their development as embryos in the seeds. The aim of our work is to give a picture of the impact of cadmium (100  $\mu\text{M}$  and 250  $\mu\text{M}$   $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) on the growth of fresh weight and dry weight in two lines of fir hybrids: *Abies alba* x *Abies cephalonica* and *Abies alba* x *Abies numidica* during the period of cultivation.

*Key words: fir hybrids, cadmium, growth, somatic embryogenesis, fresh weight, dry weight*

#### ***Súhrn***

Somatická embryogenéza je proces vývinu embrya (alebo embryu podobných štruktúr) bez fúzie gamét zo somatických buniek alebo pletív rastlinného organizmu v podmienkach *in vitro*. Somatické embryá prechádzajú podobnými morfológickými, štruktúrnymi a fyziologickými vývinovými štádiami ako embryá v semenách. Cieľom našej práce je podať obraz o vplyve testovaného kadmia na prírastok čerstvej hmotnosti a sušiny dvoch línií hybridných jedlí *Abies alba* x *Abies cephalonica* a *Abies alba* x *Abies numidica* počas doby kultivácie.

*Kľúčové slová: hybridné jedle, kadmium, rast, somatická embryogenéza, čerstvá hmotnosť a sušina*

## **ÚVOD**

Znečisťovanie životného prostredia sa začalo rozvíjať spolu so začiatkom priemyselnej výroby v 18.-19. storočí, pričom doteraz v mnohých oblastiach zanecháva negatívne dôsledky: znečisťovanie pôd, vôd, atmosféry ale aj globálne celej biosféry. Znečistenie ovzdušia má veľký vplyv na lesné spoločenstvo. Plynné imisie poškodzujú bunky v pletivách, rozkladajú chlorofyl, prejavujú sa hnednutím listov, ihličia a zapríčiňujú vysychanie stromov. Ťažké kovy patria medzi významné znečisťovatele životného prostredia a tvoria jednu z najdôležitejších skupín toxických látok, ktoré z prostredia veľmi ťažko odstrániť. Na Slovensku je znečistenie najmä pôd ťažkými kovmi vyššie ako priemerne vo svete: hornatý reliéf a veľký výskyt rúd (priemysel). Najznečistenejšie sú preto oblasti okolo priemyselných centier, hutníckych závodov a banských miest. Štúdium účinkov kovových iónov na rastlinné

bunky a celé rastliny sú stále aktuálne. Skoré somatické embryá ihličnanov predstavujú jedinečný rastlinný modelový systém, ktorý môže byť použitý pre štúdium rôznych typov environmentálnych stresov, vrátane iónov kovov v dobre kontrolovaných experimentálnych podmienkach.

## MATERIÁL A METÓDY

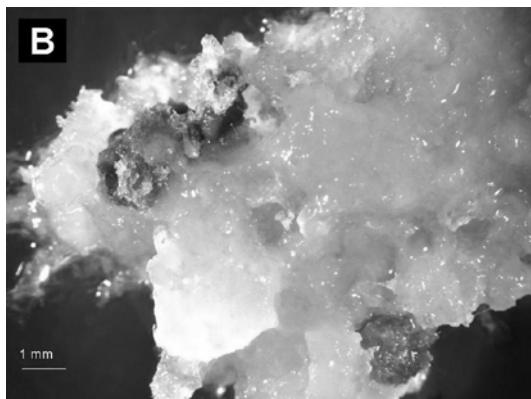
Ako východiskový rastlinný materiál v našej práci používame embryogénne kultúry hybridov jedle: *Abies alba* x *Abies cephalonica* (lína AC 78) a *Abies alba* x *Abies numidica* (lína AN 72) indukované z nezrelých zygotových embryí a dlhodobo udržiavané v Petriho miskách na živnom médiu DCR (BAP – 1 mg.l<sup>-1</sup>). Pletivo sme v exponenciálnej fáze rastu (8.deň) preniesli na základné médium DCR obohatené rôznou koncentráciou Cd (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (250 µM a 100 µM). Odbery na rastovú analýzu (prírastok čerstvej hmotnosti a sušiny) sme robili na 0., 5., 10., 15. a 20. deň piatimi opakovaniami.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Počas prvých dní kultivácie kadmium nespôsobilo žiadne viditeľné zmeny: pletivo bolo biele až žltobiele s charakteristickými vyčnievajúcimi embryami (obr. C). Pri koncentrácii 250 µM pletivo žltlo až hnedlo (tvorba fenolických zlúčenín) a rýchlejšie odumieralo (obr. A, B). Rovnako sme pozorovali neorganizované meristematické bunky, ktoré boli slabo resp. vôbec neboli spojené so suspenzorom a boli voľne roztrúsené v pletive bez akejkoľvek organizácie. Pletivá sme farbili 2% acetokarmínom (obr. D) a FDA a pozorovali pod mikroskopom.

Obr. A: Embryogénne pletivo hybridných línií jedle po 10-tich dňoch kultivácie: línia AN 72 na koncentrácii 100 µM Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O - hnedé sfarbenie pletiva: nekróza somatických embryí na povrchu embryogénnych pletív. (Foto: autor)

Obr. B: Embryogénne pletivo hybridných línií jedle po 10-tich dňoch kultivácie: línia AC 78 na koncentrácii 250 µM Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O – nekróza na časti embryogénneho pletiva, slizovitá konzistencia povrchu pletiva. (Foto: autor)

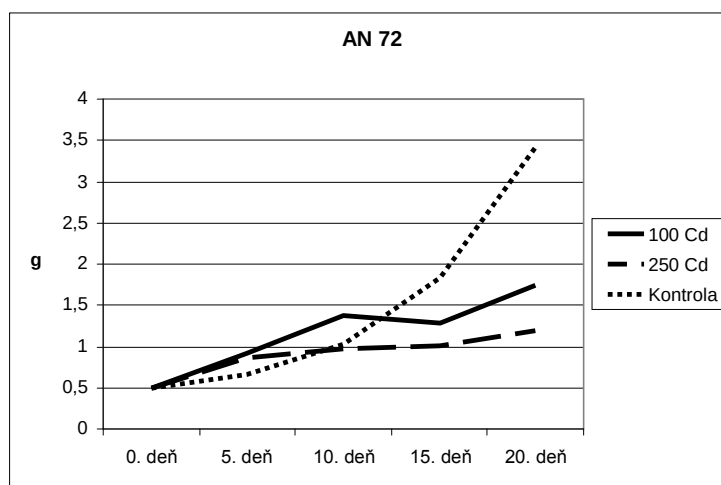
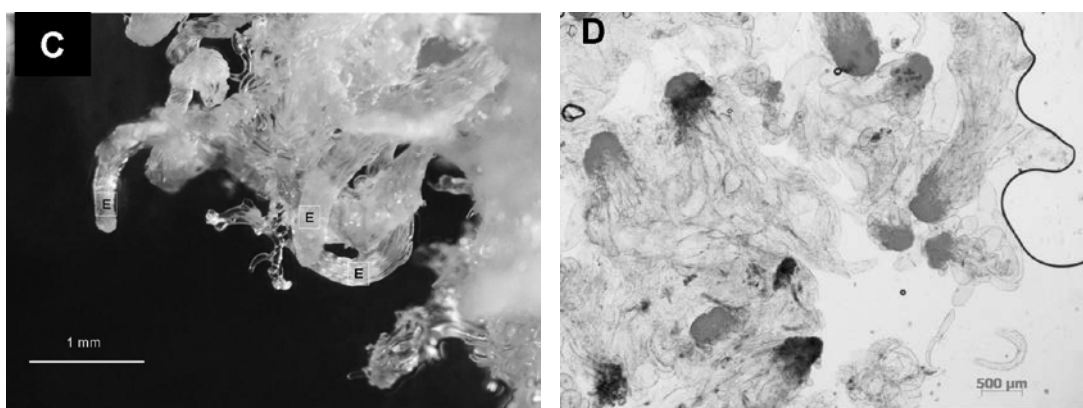


Prírastok čerstvej hmotnosti línie AN 72 na kontrolnom médiu bez pridania iónov kadmia mal stúpajúcu tendenciu počas celej sledovanej doby kultivácie. Najväčšie prírastky sme zaznamenali od 10. dňa kultivácie. Vplyv 100 µM kadmia na prírastok čerstvej hmotnosti mal stimulačný efekt na rast línie do 10. dňa, potom už ióny kadmia pôsobili inhibične, čo

viedlo k spomaleniu rastu. Pri koncentrácii 250  $\mu\text{M}$  prírastok čerstvej hmotnosti bol plynulý počas celej doby kultivácie. Prírastky čerstvej hmotnosti v porovnaní s inokulom (0,5 g = 100 %) dosahovali 132 % – 684 % pri kontrole, 184 % – 348 % pri 100  $\mu\text{M}$  kadmia a 172 % – 240 % pri 250  $\mu\text{M}$  kadmia.

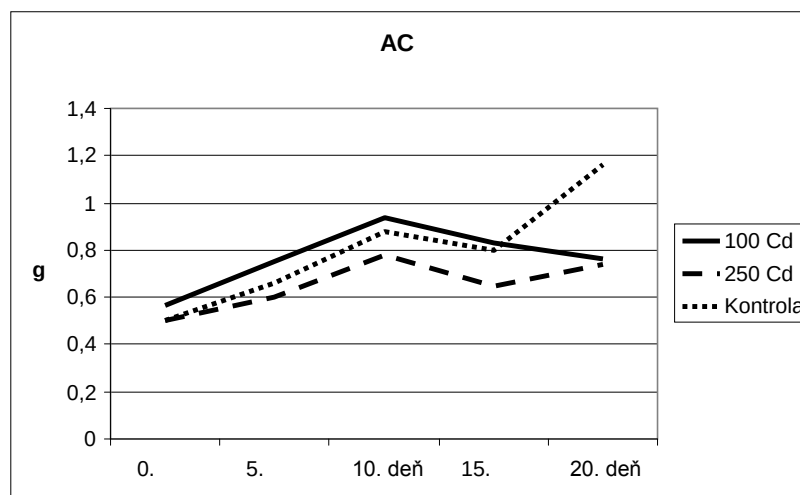
Obr. C: Embryogénne pletivo hybridných línií jedle: línia AC 78 – detailnejší pohľad na vyčnievajúce somatické embryá (E) (Foto: autor)

Obr. D: Somatické embryá línie AC 78 po 17-tich dňoch kultivácie na kontrolnom médiu: farbené 2% acetokarmínom, ktorý sa viaže na chromozómy živých buniek (tmavé - embryonálne meristematické bunky, pripojené zväzky buniek– suspenzorové bunky)(Foto: autor)



Obr. E: Graf rastovej krivky prírastku čerstvej hmotnosti embryogénneho pletiva línie AN 72; os X: dni odberu, os Y: prírastok čerstvej hmotnosti v gramoch

Prírastok čerstvej hmotnosti línie AC 78 na kontrolnom médiu bez pridania iónov kadmia mal stúpajúcu tendenciu do 10. dňa kultivácie rovnako ako aj pri oboch koncentráciách. Po tomto dni sa rast spomalil a pletivá pri všetkých médiách preukázali klesajúcu tendenciu. Vplyv 100  $\mu\text{M}$   $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  na prírastok čerstvej hmotnosti po 10. dni mal inhibičný efekt, čo viedlo k spomaleniu rastu a nástupu stacionárnej fázy. Pri koncentrácii 250  $\mu\text{M}$  prírastok čerstvej hmotnosti bol lineárny do 10. dňa kultivácie. Prírastky čerstvej hmotnosti v porovnaní s inokulom (0,5 g = 100 %) dosahovali 110 – 232 % pri kontrole, 144 – 188 % pri 100  $\mu\text{M}$  kadmia a 120 – 156 % pri 250  $\mu\text{M}$  kadmia.



Obr. F: Graf rastovej krivky prírastku čerstvej hmotnosti embryogénneho pletiva línie AC 78; os X: dni odberu, os Y: prírastok čerstvej hmotnosti v gramoch

K diskusii na záver môžeme povedať, že vplyvom ťažkých kovov dochádza k inhibícii rastu /1, 2/, resp. pri vysokých koncentráciách k jeho zastaveniu, čo bolo potvrdené aj na iných experimentálnych modeloch /6, 5, 9/. Nižšie koncentrácie kadmia zasa naopak môžu stimulovať nárast biomasy rastlín /11/. Kadmium na bunkovej úrovni zasahuje do morfogénzy pletiva, bunkového delenia /3, 6/ a metabolizmu /4, 7, 8, 10/.

## LITERATURA

- /1/ Fornazier, R. F., Ferreira, R. P., Pereira, G. J. G., Molina, S. M. G., Smith, R. J., Lea, P. J., Azevedo, R. A.: Cadmium stress in sugar cane callus culture: effect on antioxidant enzymes. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 75, 2002:125-131.
- /2/ Liu, C. P., Shen, Z. G., Li, X. D.: Accumulation and detoxification of cadmium in *Brassica pekinensis* and *B. chinensis*. *Biol Plant*, 51, 2007:116-120
- /3/ Dalla Vecchia, F., La Rocca, N., Moro, I., De Faveri, S., Andreoli, C., Rascio, N.: Morphogenetic, ultrastructural and physiological damages suffered by submerged leaves of *Elodea canadensis* exposed to cadmium. *Plant Sci*, 168, 2005: 329-338
- /4/ Bergmann, H., Machelett, B., Lippmann, B., Friedrich, Y.: Influence of heavy metals on the accumulation of trimethylglycine, putrescine and spermine in food plants. *Amino Acids*, 20, 2001: 325-329
- /5/ Masarovičová, E., Kráľová, K., Kummerová, M., Kmentová, E. The effect of cadmium on root growth and respiration rate of two medicinal plant species. *Biologia* 59, 2004: 211-214.
- /6/ Godbold, D. L., Huttermann, A.: Effect of Zinc, Cadmium and Mercury on Root Elongation of *Picea-Abies* (Karst) Seedlings, and the Significance of These Metals to Forest Dieback. *Environmental Pollution Series a-Ecological and Biological*, 38, 1985: 375-381.
- /7/ Kabata-Pendias, A., Pendias, H.: Trace Elements in Soils and Plants. Florida: CRC Press, 1992: 365 p.
- /8/ Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero-Puertas, M. C., del Rio, L. A. : Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *J. Exp. Bot.*, 52, 2001: 2115-2126
- /9/ Vollmannová, A., Tóth, T. Lahučský, L., Stanovič, R.: Využitie láskavca na znižovanie pôdných obsahov kadmia. In: *Environmentálne inžinierstvo*. Košice: TU, 2006. 2006: 136.
- /10/ Kloke, A. – Sauerbeck, D. R. – Vetter, H. 1984. The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains. In: NRIAGU, J. O. (ed.) *Changing Metal Cycles and Human Health*. Berlin, New York: Springer Verlag, 1984, p. 113 – 141. ISBN 0387127488
- /11/ Pál, M. – Horváth, E. – Janda, T. – Páldi, E. – Szalai, G.: Cadmium stimulates the accumulation of salicylic acid and its putative precursors in maize (*Zea mays*) plants. In: *Physiologia plantarum*, 125, 2005: 356 – 364.

## Poděkování

Práca bola financovaná v rámci projektu COST FP0905.

## **VPLYV ARZÉNU A KADMIA NA FLUORESCENCIU CHLOROFYLU V LISTOCH *GLYCINE MAX* (L.) MERR.**

### ***THE EFFECT OF ARSENIC AND CADMIUM IONS ON THE CHLOROPHYLL FLUORESCENCE IN LEAVES OF *GLYCINE MAX* (L.) MERR.***

Terézia Gálusová, Beáta Piršelová, Roman Kuna, Peter Boleček

Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, FPV, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie mládeže 91, 949  
74 Nitra, Slovenská republika, terezia.galusova@ukf.sk

#### **Summary**

Heavy metals belong to significant pollutants in environment because of their ecotoxicity, ability to accumulate in living organism and inability to be degraded. The goal of our experiments was to determine sensitivity of selected soybean varieties (*Glycine max* (L.) Merr. cvs. Bólyi 44 and Cordoba) to ions of  $\text{As}^{3+}$  a  $\text{Cd}^{2+}$  on the basis of determine the parameters of chlorophyll fluorescence in the different developmental stages of leaves. After 10 days of growing the plants in contaminated soil we observed decreased of  $F_0$  in upper leaf 1 of the applied dose of  $\text{As}^{3+}$  in the case of cv. Bólyi 44 and of the applied dose of  $\text{Cd}^{2+}$  in the case of cv. Cordoba. We observed also a decreased of  $F_v/F_m$  in upper leaf 2 than effect of  $\text{As}^{3+}$  in the case of cv. Bólyi 44, in upper leaf 1, in upper leaf 2 in the case of cv. Bólyi 44 and in lower leaves in the case of cv. Cordoba of the applied dose of  $\text{Cd}^{2+}$ .

*Key words: arsenic, cadmium, chlorophyll fluorescence, soybean*

#### **Súhrn**

Ťažké kovy patria medzi významné znečisťovatele životného prostredia kvôli ich ekotoxícite, akumulácii v živých organizmoch ako i neschopnosti sa degradovať. Cieľom našich experimentov bolo stanoviť senzitivitu vybraných odrôd sóje fazuľovej (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bólyi 44 a cv. Cordoba) na ióny  $\text{As}^{3+}$  a  $\text{Cd}^{2+}$  na základe stanovenia parametrov fluorescence chlorofylu v rôznych vývinových štádiách listov. Po 10. dňoch rastu rastlín v kontaminovanej pôde sme zaznamenali zníženie  $F_0$  vo vrchných listoch 1 vplyvom aplikovanej dávky  $\text{As}^{3+}$  v prípade cv. Bólyi 44 a vplyvom aplikovanej dávky  $\text{Cd}^{2+}$  v prípade cv. Cordoba. Zaznamenali sme tiež zníženie  $F_v/F_m$  vo vrchných listoch 2 ako efekt účinku  $\text{As}^{3+}$  v prípade cv. Bólyi 44, vo vrchných listoch 1, vrchných listoch 2 v prípade cv. Bólyi 44 a spodných listoch v prípade cv. Cordoba vplyvom aplikovanej dávky  $\text{Cd}^{2+}$ .

*Kľúčové slová: arzén, kadmium, fluorescencia chlorofylu, sója fazuľová*

#### **ÚVOD**

Ťažké kovy patria k významným znečisťujúcim látkam prostredia, pretože sa hromadia v organizmoch a nie sú schopné degradovať sa. Arzén a kadmium sú považované za biologicky neesenciálne prvky. Toxické účinky arzénu a kadmia na klíčiace rastliny poľnohospodárskych plodín boli zaznamenané viacerými autormi /1, 2/, zatiaľ čo príznaky toxicity kovov v rastlinách sa prejavujú vädnutím, chlorózami a odumieraním listov /3/, obmedzením rastu koreňov a výhonkov, znížením dĺžky koreňov a výhonkov a znížením výnosu plodov a zŕn /4/. Obsah listových chlorofylov úzko súvisí so stresom rastlín

a starnutím /5/. Na druhej strane karotenoidy hrajú štruktúrálnu úlohu v organizácii fotosyntetických membrán, zúčastňujú sa zberu svetla, prenosu energie, zachytávaní škodlivých voľných kyslíkových a organických radikálov a ochladzovaní /6/. Ťažké kovy môžu mať vplyv na jednotlivé zložky fotosyntézy na rôznych úrovniach /7/. Zmeny výťažku fluorescence chlorofylu sú citlivým indikátorom fotosyntetických procesov prebiehajúcich v časovom rozmedzí od mikrosekúnd až po minúty. /8/ uvádzajú, že meranie fluorescence chlorofylu je rýchla, nedeštruktívna a kvantitatívna diagnostická metóda porovnateľná s ostatnými metódami na hodnotenie kvality fotosyntetických procesov. Cieľom našich experimentov bolo stanoviť senzitivitu vybraných odrôd sóje fazuľovej (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bólyi 44 a cv. Cordoba) na ióny  $As^{3+}$  a  $Cd^{2+}$  na základe stanovenia parametrov fluorescence chlorofylu v rôznych vývinových štádiách listov.

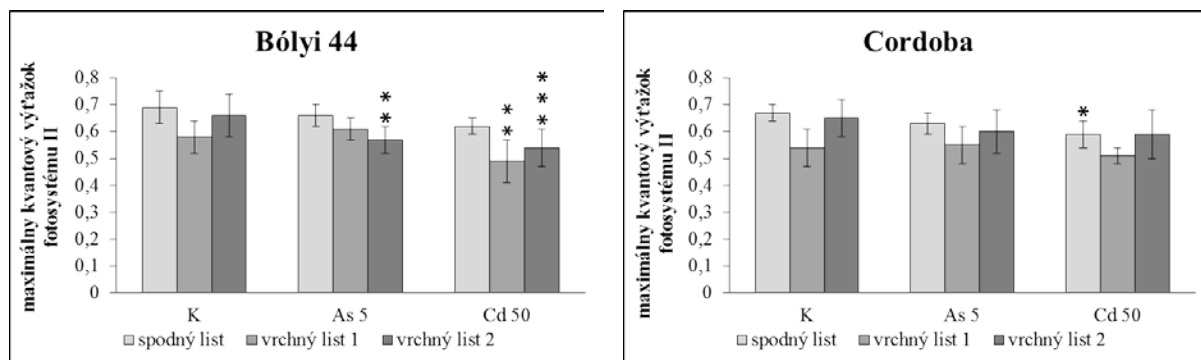
## MATERIÁL A METÓDY

Vysterilizované semená sóje fazuľovej (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bólyi 44, cv. Cordoba) sme nakličovali na Petriho miskách (Ø 12 cm) po dobu 3 dní. Keď korene dosiahli dĺžku 5 – 8 mm, vysadili sme ich do plastových črepníkov (Ø 25 cm, objem 1 500 ml) do zmesi rašelinovej zeminy BORA (pH 5 – 7; vlhkosť 65 %) a perlitu (v pomere 4:1), a zaliali sme ich destilovanou vodou, ktorej množstvo zodpovedalo maximálnej sorpčnej kapacite pôdy (~700 ml). Na rastliny v štádiu prvých asimilačných listov (12. deň nádobového pokusu) sme aplikovali roztoky kovov ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  pôdy  $Cd^{2+}$ ,  $5 \text{ mg.kg}^{-1}$  pôdy  $As^{3+}$ ) vo forme roztokov  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  a  $As_2O_3$ , resp. destilovanú vodu (kontrola). Nádobové pokusy sme uskutočnili v rastovej komore s kontrolovanou klímou pri teplote 23 °C. Po 10 dňoch rastu sme na rôznych vývinových štádiách listov kontrolných aj stresovaných rastlín uskutočnili merania fluorescence chlorofylu pomocou kinetickej fluorescenčnej kamery GFPCam (Photon Systems Instruments, Brno, Česká republika). Ontogenetické štádium listov rastlín sme stanovili v rastovej fáze V2 /9/ nasledovne: prvý asimilačný list sme označili ako spodný list (jednoduchý), druhý asimilačný list ako vrchný list 1 (zložený, trojpočetný) a tretí asimilačný list ako vrchný list 2 (zložený, trojpočetný; v smere od koreňa ku vrcholu výhonku). Merania fluorescence chlorofylu na intaktných listoch modelových rastlín sme zopakovali na listoch 3 rastlín v 3 nezávislých biologických opakovaní pokusu. Po svetelnej adaptácii rastlinného materiálu v tme (približne 5 minút) prístroj zaznamenáva nasledujúce parametre fluorescence chlorofylu:  $F_0$  – minimálna fluorescencia,  $F_m$  – maximálna fluorescencia,  $F_v/F_m$  – maximálny kvantový výťažok fluorescence. Fluorescencia chlorofylu je indukovaná 1s impulzom excitačného žiarenia ( $\lambda=650 \text{ nm}$ ,  $120 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) na list rastliny. Okamžité zmeny chlorofylovej fluorescence počas ožiarenosťou indukovanej kinetiky fluorescence chlorofylu (Kautského efekt) sú zaznamenávané s časovým rozlíšením 0,04 s a uchovávané prostredníctvom imaginárneho softvéru FluorCam verzia 6 s rozlíšením  $0,1 \text{ mm}^2/1 \text{ pixel}$ . Úroveň maximálnej fluorescence je meraná pridaním hypersaturačného pulzu ( $>5000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) pochádzajúceho z LED diód. Frekvencia a dĺžka pulzu je stimulovaná kontrolnou jednotkou P.A.M., ktorá automaticky zabezpečuje zmeny frekvencie modulácie počas dĺžky pulzu na 100 kHz /10/. Údaje boli štatisticky spracované a vyhodnotené Studentovým t-testom v programe Microsoft Excel.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Parametre fluorescence chlorofylu sú indikátormi fotochemických procesov vo fotosystéme II, ktorý je viac citlivý na stres ako fotosystém I, čo sa prejavuje najmä znižovaním maximálneho kvantového výťažku fluorescence ( $F_v/F_m$ ) stresovaných rastlín /11/. Aplikovaná dávka  $As^{3+}$  mala inhibičný účinok (o 13,64 %) na  $F_v/F_m$  odrody Bólyi 44 vo vrchných listoch 2 (Obr. 1). Zníženie  $F_v/F_m$  vplyvom arzénu zistili aj /12/ v jačmeni siatom. Výsledky meraní rastlín vystavených účinku  $Cd^{2+}$  poukázali na zníženie  $F_v/F_m$  vo vrchných listoch 1 (o 15,52 %), vrchných listoch 2 (o 18,18 %) odrody Bólyi 44 a taktiež v spodných listoch (o 11,94 %) odrody Cordoba.

Rastliny odrody Bólyi 44 ošetrované  $As^{3+}$  vykazovali nižšiu minimálnu fluorescenciu ( $F_0$ ) vo vrchných listoch 1 (o 12,89 %) v porovnaní s kontrolnými rastlinami (Tab. 1). Analýza získaných údajov potvrdila tiež preukazný vplyv  $Cd^{2+}$  na zníženie  $F_0$  vo vrchných listoch 1 (o 9,85 %) odrody Cordoba. Opačný efekt kadmia na  $F_0$  zaznamenali /13/ v rastlinách jačmeňa. /14/ zaznamenali signifikantnú inhibíciu  $F_0$  a  $F_v/F_m$  riasy *Scenedesmus* sp. po expozícii viacerých ťažkých kovov.



Obr. 1: Maximálny kvantový výťažok fotosystému II v rôznych vývinových štádiách listov sóje fazuľovej cv. Bólyi 44 a cv. Cordoba. Dávky ťažkých kovov sú uvedené v  $mg.kg^{-1}$  pôdneho substrátu. Hladiny významnosti rozdielov: \* $P<0,05$ ; \*\* $P<0,01$ ; \*\*\* $P<0,001$ .

Tab. 1: Vplyv kadmia a arzénu na minimálnu a maximálnu fluorescenciu chlorofylu rôznych vývinových štádií listov sóje fazuľovej

| Odroda                                       | Bólyi 44   |               |              | Cordoba    |             |              |
|----------------------------------------------|------------|---------------|--------------|------------|-------------|--------------|
|                                              | K          | As 5          | Cd 50        | K          | As 5        | Cd 50        |
| Minimálna fluorescencia chlorofylu ( $F_0$ ) |            |               |              |            |             |              |
| SL                                           | 130,5±23,5 | 114,2±19,0    | 118,7±20,8   | 127,4±7,9  | 113,8±15,1  | 114,31±15,63 |
| VL1                                          | 128,9±7,3  | 112,3±15,1*** | 125,8±15,7   | 120,3±14,3 | 121,3±0,9   | 108,42±15,8* |
| VL2                                          | 96,1±23,0  | 93,1±10,2     | 89,6±19,5    | 70,2±8,6   | 76,3±14,4   | 68,20±11,8   |
| Maximálna fluorescencia chlorofylu ( $F_m$ ) |            |               |              |            |             |              |
| SL                                           | 369,5±28,6 | 335,6±34,6    | 319,6±74,0   | 387,4±45,4 | 305,7±62,4* | 280,1±49,5** |
| VL1                                          | 313,0±43,2 | 290,0±50,1    | 255,4±63,1** | 270,5±69,7 | 281,5±81,9  | 222,5±42,3*  |
| VL2                                          | 281,0±31,6 | 217,0±33,9*** | 195,6±28,4   | 201,9±35,2 | 198,2±42,6  | 173,1±49,6   |

Hodnoty zodpovedajú aritmetickému priemeru  $\pm$  smerodajná odchýlka ( $n=10$ ). Dávky ťažkých kovov sú uvedené v  $mg.kg^{-1}$  pôdneho substrátu. Hladiny významnosti rozdielov: \* $P<0,05$ ; \*\* $P<0,01$ ; \*\*\* $P<0,001$ .

Z výsledkov meraní maximálnej fluorescence ( $F_m$ ) vyplýva inhibičný účinok  $As^{3+}$  vo vrchných listoch 2 (o 22,79 %) odrody Bólyi 44 a spodných listoch (o 21,09 %) odrody Cordoba (Tab. 1). Aplikovaná dávka  $Cd^{2+}$  vyvolala zníženie  $F_m$  vo vrchných listoch 1 (o 18,38 %), vrchných listoch 2 (o 30,38 %) odrody Bólyi 44 a spodných listoch (o 27,70 %), vrchných listoch 1 (o 17,76 %) odrody Cordoba.

V predkladanom príspevku sme zhodnotili účinky iónov  $As^{3+}$  a  $Cd^{2+}$  na vybrané parametre fluorescence chlorofylu v rôznych vývinových štádiách listov dvoch odrôd sóje fazuľovej. Na aplikované dávky iónov  $As^{3+}$  a  $Cd^{2+}$  citlivejšie reagovali listy odrody Bólyi 44. Z testovaných parametrov boli iónmi kovov najviac ovplyvnené vrchné listy 1 ( $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$ ) a vrchné listy 2 ( $F_m$ ,  $F_v/F_m$ ). Výsledky našich experimentov teda potvrdzujú genotypovú variabilitu v tolerancii na ťažké kovy [15], poukazujú však aj na líšiace sa stratégie obrany v rôznych častiach rastlín. Testované rastliny budú podrobené hlbším analýzám na biochemickej a molekulárnej úrovni s cieľom identifikovať rozdiely v prebiehajúcich obranných mechanizmoch voči iónom  $As^{3+}$  a  $Cd^{2+}$ .

## LITERATÚRA

- /1/ Liu, X.L., Zhang, S.Z., Shan, X.Q., Zhu, Y.G.: Toxicity of arsenate and arsenite on germination, seedling growth and amylolytic activity of wheat. *Chemosphere*, 61, 2005: 293-301.
- /2/ Li, C., feng, S.I., Shao, Y., Jiang, L.N., Lu, X.Y., Hou, X.I.: Effects of arsenic on seed germination and physiological activities on wheat seedling. *Journal of Environmental Science - China*, 19, 2007: 725-732.
- /3/ Bavi, K., Kholdebarin, B., Moradshaki, A.: Effect of cadmium on growth, protein content and peroxidase activity in pea plants. *Pakistan Journal of Botany*, 43, 2011: 1467-1470.
- /4/ Rahman M.A., Hasegawa, H., Rahman, M.M., Rahman, M.A., Miah, M.A.M.: Accumulation of arsenic in tissues of rice plant (*Oryza sativa* L.) and its distribution in fractions of rice grain. *Chemosphere*, 69, 2007, 942-948.
- /5/ Merzylak, M.N., Gitelson, A.A., Chivkunova, O.B., Rakitin, V.Y.: Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia plantarum*, 106, 1999, 135-141.
- /6/ Young, A.J., Britton, G.: Carotenoids and oxidative stress. In: Baltscheffsky, M. (ed.): *Current Research in Photosynthesis*. Kluwer, Dordrecht, 587-590.
- /7/ Li, Y., Liu, J., Liu, Y., Li, X.: Effects of EDTA on mechanism of lead accumulation in *Typha orientalis* Presl. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 2009, 553-557.
- /8/ Mohamed, G.H., Binder, W.D., Gillies, S.L.: Chlorophyll fluorescence: a review of its practical forestry applications and instrumentation: *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10, 1995: 383-410.
- /9/ El-Shemy, H.A.: Soybean and health. InTech, Rijeka, 2011, 502.
- /10/ Trtílek, M., Kramer, D. M., koblízek, M., Nedbal, L.: Dual modulation LED Kinetic fluorometer. *Journal of Luminescence*, 72, 1997: 597-599.
- /11/ Bjorkman, O., Demming, B.: Photon yield of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origin. *Planta*, 179, 1987: 489-504.
- /12/ Stoeva, N., Bineva, T.: Oxidative changes and photosynthesis in oat plants grown in As-contaminated soil. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 29, 2003: 87-95.
- /13/ Vassilev, A., Yordanov, I., Chakalova, E., Kerin, V.: Effect of cadmium stress on growth and photosynthesis of young barley plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 21, 1995: 12-21.
- /14/ Mallick, N., Mohn, F.H.: Use of chlorophyll fluorescence in metal-stress research: a case study with the green microalga *Scenedesmus* *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55 (1), 2003: 64-69.
- /15/ Metwally, A., Safronova, V.I., Belimov, A.A., Dietz, K.J.: Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum*. *Journal of Experimental Botany*, 56, 2005: 167-178.

## Pod'akovanie

Práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektov KEGA 044UKF-4/2012 a UGA VII/11/2012.



## **VPLYV BENZOLINONU NA RAST, VÝNOS A PRÍJEM ZINKU A ŽELEZA RASTLÍN FAZULE MUNGO**

### ***THE EFFECT OF BENZOLINONE ON THE GROWTH, YIELD AND UPTAKE OF ZINC AND IRON OF MUNGBEAN PLANTS***

Mária Henselová, Ľudmila Slováková

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Katedra fyziológie rastlín, Mlynská dolina B-2, 842  
15 Bratislava, Slovensko, e-mail: henselova @ fns.uniba.sk

#### ***Summary***

In the pot trials the effects of plant growth regulator benzolinone on growth, photosynthetic pigments, Hill reaction activity, protein content, uptake and accumulation of zinc and iron as well as yield components in mungbean *Vigna radiata* (L.) Wilczek plants were studied. The regulator was applied twice at a dose of 3 and 30 mg·l<sup>-1</sup>. The first application in the stage of three trifoliate leaves was followed by a second application two weeks later. Treatment of mungbean plants with benzolinone increased uptake and accumulation of the microelements in individual plant organs, it also increased photosynthetic pigments content, Hill reaction activity and yield components. Protein content in the seeds was decreased only in 30 mg·l<sup>-1</sup> applicable dose of benzolinone.

*Key words: benzolinone, Vigna radiata, mungbean, yield, zinc, iron, uptake, photosynthetic pigments, Hill reaction, proteins*

#### ***Súhrn***

V nádobových pokusoch sme overovali účinky benzolinonu na rast, vybrané fyziologické a výnosové parametre, ako aj príjem a akumuláciu zinku a železa rastlín fazule mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. Prípravok sa na rastliny aplikoval dvakrát, a to prvýkrát v štádiu tretieho trojlístu a následne dva týždne po prvej aplikácii v aplikačných dávkach 3 a 30 mg·l<sup>-1</sup>. Regulátor rastu mal pozitívny vplyv na zvýšený príjem mikroelementov do jednotlivých orgánov rastlín, preukazne zvyšoval v listoch obsah fotosyntetických pigmentov a aktivitu Hillovej reakcie, čo sa premietlo aj do zvýšenia úrodnotvorných ukazovateľov a celkového výnosu semien. Obsah bielkovín v semenách bol preukazne znížený iba vplyvom vyššej aplikačnej dávky.

*Kľúčové slová: benzolinon, Vigna radiata, fazuľa mungo, výnos, zinok, železo, príjem, fotosyntetické pigmenty, Hillová reakcia, bielkoviny*

#### **ÚVOD**

Mikroelementy zinok a železo sú esenciálnymi prvkami nielen pre rastliny, ale aj pre zdravie človeka /1/. Ich nedostatok má negatívny účinok nielen na rast, výnos a kvalitu úžitkových rastlín, ale následne aj na nízku dostupnosť týchto prvkov v potrave človeka. Uvádza sa /2/, že až 49 % ľudskej populácie je rizikovou z hľadiska nízkeho príjmu zinku a že nedostatkom železa trpí na anémiu až 30 % populácie /3/. Zinok je súčasťou väčšiny enzýmov a proteínov, ovplyvňuje bunkový a uhlíkový metabolizmus a tiež metabolizmus nukleových

kyselín a bielkovín /4/. Rastliny sú takisto citlivé na nedostatok železa, ktorý sa prejavuje nízkym obsahom chlorofylu, poškodením fotosyntetického elektrónového transportu, nízkym obsahom feredoxínu a redukciou tvorby ribulozobifosfátu /5/. Za účelom zvýšenia fytoextrakcie esenciálnych mikroelementov z pôdy sa overovali kombinované účinky kovov s rôznymi rastovými látkami /6/. Po aplikácií rastových látok na báze cytokinínov sa zistila /7/ zvýšená akumulácia zinku v listoch slnečnice o 20 až 59 %. Fazuľa mungo pre svoju arómu, vysoký obsah bielkovín a minerálnych látok je významným nutričným potravinovým zdrojom /8/. Cieľom tejto práce bolo overenie účinku regulátora rastu rastlín benzolinonu na rast, niektoré vybrané fyziologické a výnosové parametre fazule mungo, ako aj na príjem a akumuláciu mikroelementov (Zn a Fe) do jednotlivých orgánov.

## MATERIÁL A METÓDY

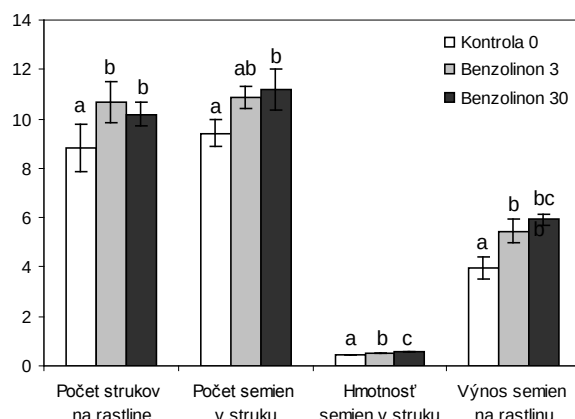
Pokusy sme realizovali v skleníkových podmienkach v mesiacoch máj až august. Rastliny fazule mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] sme pestovali v pokusných nádobách s obsahom 2 kg zmiešaného substrátu, pričom v jednej nádobe bola jedna rastlina. Prvková analýza použitého substrátu bola nasledovná ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ): celkový N 3082; P 78,6; Mg 554,7; Ca 11816; K 172,5; Zn 63,7; Fe 22 110. Analýza pôdy sa zabezpečila vo Výskumnom ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy v Bratislave. Rastliny fazule mungo sme ošetrili regulátorom rastu pod všeobecným názvom benzolinon s obsahom účinnej látky 3-(benzyloxykarbonyl-metyl) 2-benzothiazolinon 30 % w/v (Istrochem, a.s. Bratislava). Prvé ošetrovanie rastlín sme vykonali v štádiu tretieho trojlistu a následne 14 dní po prvej aplikácii v aplikačnom objeme 10 ml na rastlinu v koncentráciách 3 a 30  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$   $\text{H}_2\text{O}$ . Kontrolné rastliny sme ošetrili rovnakým objemom destilovanej vody. Každou koncentráciou sme ošetrili 15 rastlín usporiadaných v blokoch po 5 rastlinách v troch opakovaníach. Pokusy sme pravidelne zavlažovali, pričom 7 dní po druhej aplikácii sme vyhodnotili vplyv prípravku na obsah fotosyntetických pigmentov metódou podľa /9/, aktivitu izolovaných chloroplastov meranú Hillovou reakciou v podmienkach *in vitro* podľa metódy /10/. Po zbere úrody sme vyhodnotili úrodotvorné parametre (počet strukov na rastlinu a počet semien v struku, hmotnosť semien v struku, ako aj celkový výnos semien na rastlinu v g). V suchých semenách spracovaných na prášok sme stanovili rozpustné bielkoviny podľa metódy /11/. Obsah mikroelementov zinku a železa sme stanovili v sušine jednotlivých orgánov rastlín atómovou absorpčnou spektrometriou (AAS) Perkin-Elmer model 1100 B (Norwalk, Connecticut, USA) na Geologickom ústave PriF UK v Bratislave. Dosiahnuté výsledky boli štatisticky spracované ANOVA testom.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

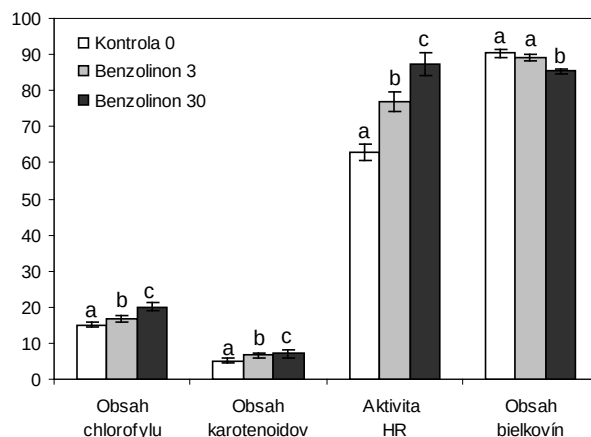
Benzolinon preukazne ovplyvnil výnosové parametre fazule mungo v obidvoch aplikačných dávkach. Vyšší účinok sa dosiahol pri dávke 30  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Počet strukov na rastlinu sa pod vplyvom prípravku preukazne zvýšil od 15 do 21 %, počet semien v struku od 15 do 19 %, hmotnosť semien v struku od 16 do 35 %, a celkový výnos semien na rastlinu od 38 do 49 % v porovnaní s kontrolou (graf 1).

Podobne výsledky dosiahol aj /12/ vplyvom foliárnych aplikácií Zn, K a Ca, ktoré taktiež zvyšovali výnos fazule mungo. Obsah bielkovín v semenách vplyvom benzolinonu bol

preukazne znížený oproti kontrole iba vo vyššej aplikačnej dávke  $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (graf 2). Toto zníženie mohlo byť spôsobené stresom zo zvýšeného príjmu mikroelementov a to ako zinku, tak aj železa. Podľa [13/ vysoké koncentrácie mikroelementov redukujú aktivitu fotosyntézy a transpirácie a môžu viesť aj k rozkladu takých metabolitov, akými sú bielkoviny. Stimulačný účinok benzolinonu sa prejavil nielen zvýšeným obsahom fotosyntetických pigmentov, (chlorofylov od 13 do 33 % a karotenoidov od 31 do 39 %), ale aj preukazným zvýšením fotochemickej aktivity chloroplastov od 22 do 39 % v porovnaní s kontrolou (graf 2).



Graf 1: Účinok foliárnej aplikácie benzolinonu na výnosové parametre fazule mungo pestovanej v skleníkových podmienkach. Počet semien a strukov [ks], hmotnosť a výnos semien [g]. Prípravok bol aplikovaný dvakrát, a to v štádiu tretieho trojlistu a dva týždne po prvej aplikácii v dávkach  $3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a  $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Údaje sú priemerom  $\pm$  SE,  $n=3$ . Hodnoty označené rozdielnym písmenom sú štatisticky preukazné pri  $P < 0,05$  podľa LSD testu.



Graf 2: Zmeny v obsahu fotosyntetických pigmentov chlorofylu a + b a karotenoidov  $k + x$  [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (s. h.)], aktivite Hillovej reakcie [% redukovaného DCPIP] a obsahu bielkovín v semenách [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (s. h.)]. Prípravok bol aplikovaný rovnako, ako je uvedené pri grafe 1. Údaje sú priemerom  $\pm$  SE,  $n=3$ . Hodnoty označené rozdielnym písmenom sú štatisticky preukazné pri  $P < 0,05$  podľa LSD testu.

Okrem toho rastliny po ošetrení prípravkom boli oproti kontrolným rastlinám sýto zelené, pričom senescencia rastlín, osobitne listov, bola oneskorená, čím sa nielen stimulovala ale aj predĺžila fotosyntetická aktivita rastlín fazule mungo. Stimulácia aktivity fotosyntézy podľa /14/ mobilizuje asimiláty a ich transport do reprodukčných orgánov, čo pravdepodobne ovplyvnilo výnosové parametre plodiny aj v našich pokusoch. Okrem toho benzolinon, ako syntetický auxinoid /15/ ovplyvňuje biosyntézu endogénnych fytohormónov cytokinínov a IAA. Je všeobecne známe, že cytokiníny zvyšujú nielen fotosyntetickú aktivitu, ale ovplyvňujú celý produkčný proces rastlín /16/, pričom spolu s auxínmi zohrávajú kľúčovú úlohu v atrakcii metabolitov. Domnievame sa preto, že exogénna aplikácia benzolinonu mohla zosilniť atrakčnú schopnosť endogénnej IAA a tým aj ovplyvniť transport asimilátov z miesta ich produkcie do miesta ich využitia, t. j. ekonomicky významných orgánov.

Celkový príjem mikroelementov na rastlinu sa pri zinku zvýšil od 22,7 do 50,4 % a príjem železa od 15,2 do 23,5 % oproti kontrole (tab.1), čo korešponduje aj s výsledkami autorov /17/, ktorí pod vplyvom NAA dosiahli 59,5 % zvýšenie Zn u rastlín kukurice.

Tab.1. Obsah zinku a železa [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (s. h.)] stanovený v sušine jednotlivých orgánoch fazule mungo po foliárnej aplikácii benzolinonu (Be). Štandardná chyba SE nepresiahla v žiadnej hodnote 10 %.

| Dávka<br>[ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ] | Koreň  |         | Nadzemná časť |        | Semenó |       | Celá rastlina |         |
|--------------------------------------------|--------|---------|---------------|--------|--------|-------|---------------|---------|
|                                            | Zn     | Fe      | Zn            | Fe     | Zn     | Fe    | Zn            | Fe      |
| Kontrola                                   | 158,20 | 1953,00 | 182,98        | 132,14 | 34,86  | 54,38 | 376,04        | 2139,52 |
| Be 3                                       | 222,20 | 2418,00 | 196,90        | 166,77 | 42,14  | 58,35 | 461,24        | 2643,12 |
| Be 30                                      | 334,60 | 2225,00 | 187,91        | 178,86 | 43,18  | 60,78 | 565,69        | 2464,64 |

Kumulácia mikroelementov sa znižovala v poradí koreň > nadzemná časť > semenó. Vo všetkých orgánoch fazule mungo sa vplyvom benzolinonu obsah zinku a železa zvyšoval. Zistili sme, že v koreňoch sa akumulovalo podstatne viac zinku, ako železa, zatiaľ čo v nadzemnej časti tomu bolo naopak. V semenách sa akumulovalo o 21 až 25 % viac zinku a o 7 až 12% viac železa v porovnaní s kontrolou. Podľa /18/ sa obsah zinku v semenách 26 genotypov fazule pohyboval od 12 do 62  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , čo korešponduje aj s našimi výsledkami, avšak obsah železa podľa tých istých autorov sa pohyboval od 68 do 147  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , čo bol vyšší obsah, ako sme stanovili v našich pokusoch (tab.1).

Záverom konštatujeme, že vyššia akumulácia mikroelementov vplyvom benzolinonu, resp. biologicky aktívnych látok, by mohla nájsť uplatnenie v biofortifikačných programoch. Ponúka sa tým možnosť, ako prostredníctvom rastlín a potravného reťazca zabezpečiť väčší príjem esenciálnych mikroživín do ľudského organizmu.

## LITERATÚRA

- /1/ Marschner, H.: Mineral nutrition of higher plants, 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, Toronto.
- /2/ Brown K. H., Pearson J. M.: The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency. Food Nutr. Bull, 22, 2001: 113-125.
- /3/ Espinosa-Huerta E., Acosta-Gallegos J. A., Guzmán-Maldonado H. S., Mora-Avilés M. A.: Analysis of iron content in different cultivars, tissues and developmental stages of common bean. The XLIX Report of the bean improvement cooperative, 49, 2006: 119-120.
- /4/ Prasad A. S.: Zinc: an overview. Nutrition, 11, 1995: 93-99.

- /5/ Bohra S., Mathur N., Singh J., Hohra A. Q., Vyas A.: Changes in morpho-biochemical characteristics of moth bean in indian thar desert-due to sulphur and iron nutrition. Amer.-Euras. J. Agric. and Environ. Sci, 1, 2006: 51-57.
- /6/ Liphadzi, M.S., Kirkham, M.B., Paulsen, G.M.: Auxin-enhanced root growth for phytoremediation of sewage- sludge amended soil. Environ. Technol, 27, 2006: 695-704.
- /7/ Tassi, E., Pouget, J., Petruzzelli, G., Barbafieri, M.: The effects of exogenous plant growth regulators in the phytoextraction of heavy metals. Chemosphere, 71, 2008: 66-73.
- /8/ Gupta, Y.P.: Nutritive value of food legumes. In: Arora, S.K. (ed.). Chemistry and biochemistry of legumes. Edwards Arnold, London: 287-328.
- /9/ Lichtenthaller H. K.: Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol, 148, 1987: 350-382.
- /10/ Henselová, M., Regecová, M., Sováková, A.: Isolation of chloroplasts in the *Karwinskia* species and determination of their photochemical activity under *in vitro* conditions. Plant Soil Environ, 50, 2004: 149-156.
- /11/ Bradford M. M.: A rapid and sensitive method for the quantification of micrograms quantities of protein using principle of protein-dye binding. Anal.Biochem, 72, 1976: 248-259.
- /12/ Kassab O. M.: Soil moisture stress and micronutrients foliar application effects on the growth and yield of mungbean plants. J. Agric.Sci, 30, 2005: 247-256.
- /13/ Van Asche F., Clijsters H., Marcelle R.: Photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. as influenced by supra-optimal zinc nutrition. Pp.175-184. In: Marcelle R., Clijsters H., Van Poucke M. (ed.), Photosynthesis and Plant Development. Dr.W. Junk Publ., The Hague, 1979.
- /14/ Welch R. M., House W. A., Beebe S., Cheng Z.: Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. J. Agric. Food Chem, 48, 2005: 3576-3580.
- /15/ Henselová, M., Vizárová, G., Macháčková, I.: The effect of growth regulator Rastim 30 DKV on the level of endogenous phytohormones in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Rostl. Výr, 47, 2011: 411-417.
- /16/ Chernyadev, I.I.: Effect of 6-benzylaminopurine and thidiazuron on photosynthesis in crop plants. Photosynthetica, 30, 1994: 287-292.
- /17/ Fuentes, H.D., Khoo, C.S., Pe, T., Muir, S., Khan, A.G.: Phytoremediation of a contaminated mine site using plant growth regulators to increase heavy metal uptake. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry. Santiago Chile 1: 427-435.
- /18/ Kimani P. M., Karuri E., Mwaura S.: Iron, zinc and protein concentration in african bean cultivars. The XLIX Report of the bean improvement cooperative, 49, 2006: 155-157.

## Pod'akovanie

Uvedená Práca vznikla za finančnej pomoci Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0140-10. Autori ďakujú doc. RNDr. Jane Kubovej, CSc. za analýzy mikroelementov, Ing. Kataríne Hrivňákovéj za analýzu pôdy a RNDr. Jane Kohanovej za technickú pomoc.

## KOMPOZITNÉ RASTLINY AKO MODEL PRE ŠTÚDIUM PRÍJMU ŤAŽKÝCH KOVOV

### COMPOSITE PLANTS AS A MODEL SYSTEM FOR THE STUDY OF HEAVY METALS UPTAKE

Jana Kohanová, Renáta Švubová, Alžbeta Blehová

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyziológie rastlín, Mlynská dolina B-2, 842 15 Bratislava, kohanova@fns.uniba.sk

#### Summary

We have established a transformation protocol that allows the production of transformed maize roots at the *Agrobacterium rhizogenes* infection site leading to development of composite *Zea mays* plants. Eighty-nine percent of maize plants produced transgenic „hairy roots“ expressing GFP. Transformed roots showed a high intensity of GFP expression that was not present in chimeric or in wild type roots. Expression of GFP activity confirmed nuclear integration of the transgene (m-*gfp*-ER) in the plant cells. Consistent with most „hairy roots“ produced in other species, transformed maize roots exhibited a hairy root phenotype. Composite plants represent interesting possibility for investigation of mechanisms of ion uptake and translocation in plants.

**Key words:** *Agrobacterium rhizogenes*, composite plants, „hairy roots“, *Zea mays* L.

#### Súhrn

Optimalizovali sme protokol transformácie rastlín kukurice (*Zea mays* L.) pomocou *Agrobacterium rhizogenes*, čo viedlo predovšetkým v mieste infekcie k tvorbe „hairy roots“ a následne k produkcii kompozitných rastlín. Približne 89 % rastlín kukurice produkovalo transgénne, GFP pozitívne korene. Transgénne korene vykazovali vysokú intenzitu GFP fluorescencie, čo sme nepozorovali ani v prípade chimerických, ale ani netransgénnych koreňov. Fluorescencia GFP proteínu potvrdzuje stabilnú integráciu transgénu (m-*gfp*-ER) do jadrového genómu rastlinných buniek. Podobne ako v prípade iných rastlinných druhov „hairy roots“ kukurice vykazovali špecifický fenotyp. Nami získané kompozitné rastliny predstavujú zaujímavý spôsob výskumu mechanizmov príjmu a translokácie iónov rastlinami.

**Kľúčové slová:** *Agrobacterium rhizogenes*, kompozitné rastliny, vláskaté korene, *Zea mays* L.

#### ÚVOD

Kompozitné rastliny predstavujú semi-transgénne rastliny, zložené z netransgénnej nadzemnej časti a transgénnych koreňov. V prípade *Cucurbita pepo*, kedy korene kompozitných rastlín nevykazujú fenotyp špecifický pre „hairy roots“, je možné ich využiť pri štúdiu funkcie apikálneho meristému koreňa (RAM) a diferenciácie laterálnych koreňov /1/. „Hairy roots“ viacerých druhov kompozitných rastlín sa osvedčili pri štúdiu interakcie medzi hostiteľskými a parazitickými rastlinami /2/ a aplikovali sa aj pri funkčných analýzach génov pre fixáciu a metabolizmus dusíka ako aj pri štúdiu endomykorizálnych vzťahov /3, 4/. Tiež je známe, že „hairy roots“ rastlín, ktoré radíme medzi hyperakumulátory, sú schopné vo

zvýšenej miere absorbovať Cd, Ni a U. Preto kompozitné rastliny predovšetkým v posledných rokoch predstavujú zaujímavú možnosť z hľadiska výskumu mechanizmov príjmu a transportu iónov, čo otvára možnosť využiť potenciál takýchto rastlín vo fytoremediácii /5/.

Cieľom našej práce bolo vypracovať efektívny protokol pre prípravu kompozitných rastlín a optimalizovať ich prenos do *ex vitro* podmienok. Ako modelovú rastlinu pre štúdium príjmu a akumulácie ťažkých kovov sme si vybrali kukuricu siatu (*Zea mays* L.), pre jej schopnosť kumulovať väčšinu kadmia v koreňoch /6/.

## MATERIÁL A METODA

Semená kukurice siatej (*Zea mays* L., hybrid *Novania*, Sempol Trnava) sme po povrchovej sterilizácii (detergent Jar, 70 % etanol 20 min., neriedené Savo 20 min.) dôkladne opláchli sterilnou destilovanou vodou a po dvoch hodinách napučievania sme ich nechali klíčiť v roľkách filtračného papiera (tma, teplota  $25 \pm 3$  °C). Korene 3 dňových klíčnych rastlín sme odstránili skalpelom asi 3 mm nad miestom prechodu klíčneho koreňa do nadzemnej časti. Na reznú plochu sme aplikovali *A. rhizogenes* kmeň Arqual s binárnym vektorom pBIN-*m-gfp5-ER* /7/. Infikované semenáčky kukurice sme kokultivovali na bezhormónovom MS médiu (Ducheva, Haarlem, The Netherlands) s prídavkom 2 % sacharózy, 0,7 % agaru (Difco Bacto) pH = 5,8 a po 3 dňoch kokultivácie sme ich preniesli na bezhormónové MS médium s prídavkom  $250 \text{ mg.l}^{-1}$  Cefotaxímu na elimináciu nežiadúcich baktérií. Po dvoch týždňoch kultivácie v podmienkach *in vitro* (fotoperiódá dlhého dňa, intenzita difúzneho osvetlenia  $120 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , teplota  $23 \pm 3$  °C) sme rastliny preniesli do Hoaglandovho roztoku s prídavkom Cefotaxímu ( $250 \text{ mg.l}^{-1}$ ), kde sme rastliny aklimatizovali.

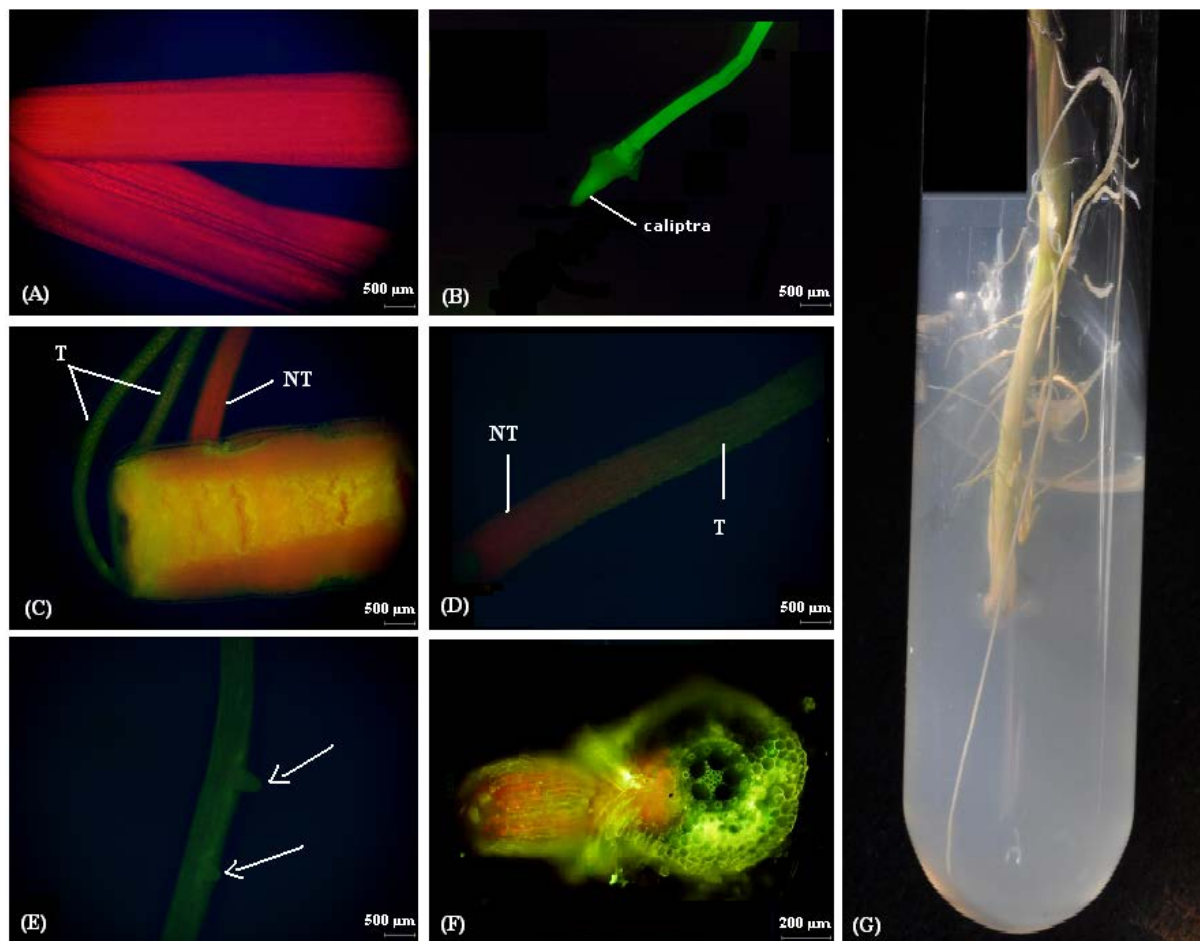
Pre vizuálnu selekciu GFP pozitívnych „hairy roots“ (vláskaté korene) sme použili fluorescenčný mikroskop (Axioskop 2 plus, Carl Zeiss, filtrová sada 16 a 25).

Integráciu *m-gfp-ER* transgénu v GFP pozitívnych koreňoch sme potvrdili pomocou PCR analýz. DNA bola izolovaná pomocou DNazol (Invitrogen). S použitím špecifických primerov (F: 5' TTGGGATCTTTTCGAAAGGGC 3', R: 5' ACCCAGATCATATGAAGCGG 3') sa amplifikovalo 415 bp *gfp* génu. Program cyklera: počiatočná denaturácia – 94 °C, 5 min (1x), denaturácia – 94 °C, 1 min (35x), anelácia primerov – 54 °C, 1 min (35x), elongácia – 72 °C, 1 min (35x), konečná elongácia – 72 °C, 7 min (1x), 4° C ∞. Produkty PCR boli elektroforeticky separované na 1,2 % agarózovom géli s prídavkom Etídium bromidu.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Nami vypracovaný protokol na prípravu kompozitných rastlín kukurice spája *in vitro* a *ex vitro* postupy, kedy v podmienkach *in vitro* bola realizovaná transformácia a selekcia kompozitných rastlín. Výsledky tejto časti našej práce korešpondujú s výsledkami, ktoré nedávno publikovali Runo et al. 2012, keď uvedení autori uvádzajú viac ako 80 % kompozitných rastlín kukurice. Efektivita nami použitej techniky transformácie bola pomerne vysoká, pretože až 89 % rastlín bolo kompozitných. Takéto rastliny, ktorých nadzemná časť je GFP negatívna (Obr. 1A) a korene sú transgénne (Obr.1B,E) sme v štádiu s plne vyvinutými tromi asimilačnými listami prenášali do Hoaglandovho roztoku, kde sme ich aklimatizovali. Potenciál týchto rastlín chceme v ďalších experimentoch využiť pri štúdiu mechanizmu príjmu a akumulácie kadmia v koreňoch kukurice.

Na selekciu transgénnych „hairy roots“ sme použili reporterový *gfp* gén, pretože jeho najväčšou výhodou je priama vizualizácia fluorescencie GFP v živých bunkách a pletivách bez pridania akýchkoľvek substrátov alebo kofaktorov, a preto spoľahlivo nahrádza techniky využívajúce iné reporterové gény napr.  $\beta$ -glukuronidázu alebo luciferázu [8/.



Obr. 1: Fluorescenčná mikroskopia kompozitných rastlín kukurice *Zea mays* L.: A - netransgénna nadzemná časť; B – transgénny koreň s koreňovou čiapočkou; C – priama regenerácia transgénnych (T) a netransgénnych (NT) „hairy roots“; D – chimerický koreň tvorený netransgénnymi (NT) a transgénnymi (T) bunkami; E – GFP pozitívne laterálne korene; F – priečny rez laterálnym koreňom s autofluorescenciou lignínu; G – „hairy roots“ kompozitnej kukurice po 17 dňoch *in vitro* kultivácie

Vysokú intenzitu GFP fluorescencie sme pomocou fluorescenčnej mikroskopie zaznamenali v rastových vrcholoch a koreňovej čiapočke (obr. 1B), ale aj v diferencujúcich sa laterálnych koreňoch (obr. 1C). Časť adventívnych koreňov, ktoré regenerovali medzi 3-4 dňom kultivácie, teda bezprostredne po infekcii, bola GFP negatívna (obr. 1C, D). Regeneráciu netransgénnych alebo chimerických koreňov si vysvetľujeme tým, že aj keď nami použitý konštrukt obsahuje *nptII* gén (gén rezistencie na Kanamycín), do regeneračných médií sme toto antibiotikum neaplikovali, aby sme zabránili jeho negatívnemu účinku na syntézu proteínov asociovaných s fotosyntetickým aparátom v netransgénnej nadzemnej časti.

Z výsledkov našich experimentov vyplýva, že „hairy roots“ sa tvoria predovšetkým z tej časti explantátu, kde bola aplikovaná *A. rhizogenes*, priamo bez kalusového medzistádia.



Naopak Runo et al. 2012 uvádzejú, že regenerácii transgénnych koreňov, ale aj diferenciácii GFP pozitívnych laterálnych koreňov predchádzala proliferácia neorganizovane rastúceho kalusu. Na rozdiel od iných modelových rastlín /1, 5/ „hairy roots“ kompozitnej kukurice vykazujú špecifický fenotyp. Ich charakteristickým znakom je plagiotropný rast, bohato rozvetvený koreňový systém a diferenciácia veľkého množstva koreňových vláskov. Primordiá GFP pozitívnych laterálnych koreňov sa zakladajú v pericykli (obr.1F) a ich diferenciáciu sme zaznamenali medzi 7. až 14. dňom *in vitro* kultivácie (obr.1E), pričom „hairy roots“ jednotlivých kompozitných rastlín nevykazovali variabilitu v stupni fluorescencie, ale isté rozdiely boli pozorované v ich hrúbke a dĺžke. Pri nami použitej technike transformácie zostali korene transgénné, teda GFP pozitívne počas viac ako dvoch mesiacov trvania experimentov. Stabilnú integráciu a expresiu *m-gfp-ER* v jadrovom genóme „hairy roots“ kukurice potvrdili aj PCR analýzy.

#### LITERATÚRA

- /1/ Ilina, E.L., Logachov, A.A., Laplace, L., Demchenko, N.P., Pawlowski, K., Demchenko, K. N.: Composite *Cucurbita pepo* plants with transgenic roots as a tool to study root development. *Annals of Botany*, 110, 2012: 479-489
- /2/ Runo, S., Macharia, S., Alakonya, A., Machuka, J., Sinha, N., Scholes, J.: *Striga* parasitizes transgenic hairy roots of *Zea mays* and provides a tool for studying plant-plant interactions. *Plant Methods*, 8, 2012: 1-20
- /3/ Boisson-Dernier, A., Chabaud, M., Garcia, F., Bécard, G., Rosenberg, Ch., Barker, D.G.: *Agrobacterium rhizogenes*-transformed roots of *Medicago truncatula* for the study of nitrogen-fixing and endomycorrhizal symbiotic Associations. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 14, 2001: 695-700
- /4/ Alpizar, E., Dechamp, E., Espeout, S., Royer, M., Lecouls, A.C., Nicole, M., Bertrand, M., Lashermes, P., Etienne, H.: Efficient production of *Agrobacterium rhizogenes*- transformed roots and composite plants for studying gene expression in coffee roots. *Plant Cell Reports*, 25, 2006: 959-967
- /5/ Veena, V., Taylor, Ch. G. (2007). *Agrobacterium rhizogenes*: recent developments and promising applications. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 43: 383-403
- /6/ Vaculík M., Landberg T., Greger M., Luxová M., Stolaríková M., Lux A.: Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, 110, 2012: 433-443
- /7/ Quandt, H.J., Pühler, A., Broer, I.: Transgenic root nodules of *Vicia hirsuta*: a fast and efficient system for the study of gene expression in indetermined-type nodules. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 6, 1993: 699-706
- /8/ Hraška, M., Rakouský, S., Čurn, S.: Green fluorescent protein as a vital marker for non-destructive detection of transformation events in transgenic plants. *Plant Cell and Tissue Organ Culture*, 86, 2006: 303-318

#### Pod'akovanie

Uvedená práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja, grantovým projektom č. APVV-0140-10.

## **VPLYV ZINKU A KREMÍKA NA METABOLIZMUS AMONIAKU V KLÍČNYCH RASTLINÁCH KUKURICE (*ZEА MAYS L.*) V PODMIENKACH ZASOLENIA**

### ***EFFECT OF ZINC AND SILICON ON AMMONIA METABOLISM IN SALT-STRESSED MAIZE (*ZEА MAYS L.*) SEEDLINGS***

Zuzana Kochanová, Barbora Sedláková, Miroslava Luxová

Botanický ústav, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 845 23 Bratislava,  
zuzana.kochan@gmail.com

#### ***Summary***

Effect of silicon and zinc on changes of enzymes glutamine synthetase (GS) and glutamate dehydrogenase (GDH) activities, important for ammonia assimilation, on maize seedlings were studied. According to the results, ammonia assimilation using GDH is more important in root than in coleoptile, both with or without NaCl. Silicon without NaCl decreased the GDH activity and increased the GS activity in root. Similarly Zn as well as interaction of Zn and Si increased the GS activity in root, when grown without salt. Under salt stress, Si or Zn increased the GS activity in root, but their interaction caused its decrease. In coleoptile NaCl decreased the GDH activity and Zn increased it under salt stress. On the contrary, the interaction of Zn and Si decreased the GDH activity. Zn and Si had a tendency to influence the preferred way of ammonia assimilation in maize, grown with or without salt.

*Key words: glutamate dehydrogenase, glutamine synthetase, Zea mays, NaCl, abiotic stress*

#### ***Súhrn***

V práci sme skúmali vplyv Si a Zn na zmeny aktivít enzýmov glutamínsyntetázy (GS) a glutamátdehydrogenázy (GDH), ktoré sa významne podieľajú na asimilácii amoniaku, v klíčnych rastlinách kukurice. Z výsledkov vyplýva, že asimilácia amoniaku prostredníctvom GDH je dôležitejšia v koreni než v koleoptile a to aj v podmienkach bez/ aj pri NaCl strese. Kremík v podmienkach bez NaCl v kultivačnom médiu znižoval GDH aktivitu a zvyšoval GS aktivitu v koreni klíčnych rastlín. Podobne aj Zn a tiež spolupôsobenie Zn a Si bez NaCl zvýšili GS aktivitu v koreni. Pri NaCl strese samotný Si alebo Zn zvyšoval GS aktivitu v koreni, ale ich spolupôsobenie ju vplyvom zasolenia znižovalo. V koleoptile pri klíčnych rastlinách pestovaných na NaCl dochádzalo k znižovaniu GDH aktivity, ktorú však Zn zvyšoval. Pri spolupôsobení Zn a Si sa však zaznamenalo opätovné zníženie aktivity tohto enzýmu. Zn aj Si majú tendencie meniť preferovanú cestu asimilácie amoniaku v kukurici, pestovanej bez/ aj s NaCl v kultivačnom médiu.

*Kľúčové slová: glutamátdehydrogenáza, glutamínsyntetáza, Zea mays, NaCl, abiotický stress*

#### **ÚVOD**

Zasolenie sa považuje za významný problém z hľadiska vplyvu na rastliny /10/. Kremík sa osvedčil ako prvok schopný eliminovať rôznorodý abiotický stres /3/. Zinok je prvok, ktorý

je v primeranom množstve pre rastliny esenciálny /9/, jeho nadmerný príjem je však pre rastliny toxický /2/. Zasolenie v rastlinách naruša procesy, súvisiace s metabolizmom dusíka /5/. Pôsobenie kremíka by vo vhodnej koncentrácii mohlo znížiť negatívne dôsledky stresu zo zasolenia a vyššej koncentrácie zinku, akými sú i zmeny v aktivite enzýmov asimilácie amoniaku.

## MATERIÁL A METODA

Semená kukurice siatej (*Zea mays* L.) cv. Valentína klíčili 3 dni v tme pri 26°C. Klíčene rastliny (n = 30 pre každý variant) sa pestovali v Hoaglandovom živnom roztoku /4/ v nasledovných variantoch: 0 (kontrola), 50 µM Zn, 500 µM Zn, 2.5 mM Si, 50 µM Zn + 2.5 mM Si, 500 µM Zn + 2.5 mM Si, 150 mM NaCl, 150 mM NaCl + 50 µM Zn, 150 mM NaCl + 500 µM Zn, 150 mM NaCl + 2.5 mM Si, 150 mM NaCl + 50 µM Zn + 2.5 mM Si, 150 mM NaCl + 500 µM Zn + 2.5 mM Si, s pH 6.2 pre každý variant. Zdrojom Si bol 27% SiO<sub>2</sub> in 14% NaOH. Klíčene rastliny sa pestovali pri 25°C v tme a analyzovali po 24 a 48 h. Na určovanie enzýmov sa použilo 0,5 g materiálu – apikálnej časti primárneho koreňa alebo koleoptily, ktorý sa homogenizoval tekutým dusíkom a extrakčným pufrom (pri GS: 50 mM Tris-HCl - pH 7,5, 2 mM EDTA and 0,1 M ditiotritol; pri GDH 0,1 mM Tris-HCl pH 7,8, 0,01 mM EDTA and 0,05 mM cysteín). Po filtrácii cez gázu sa filtrát 20 min centrifugoval pri 12 000 g. Supernatant sa použil na stanovenie aktivity enzýmu, GS podľa /7/, s meraním produkcie γ-glutamylhydroxamátu pri 540 nm a GDH podľa /11/ ako oxidácia NADH v závislosti od 2-oxoglutarátu pri 340 nm. Pri výpočte sme vychádzali z obsahu proteínov stanovenom podľa /1/.

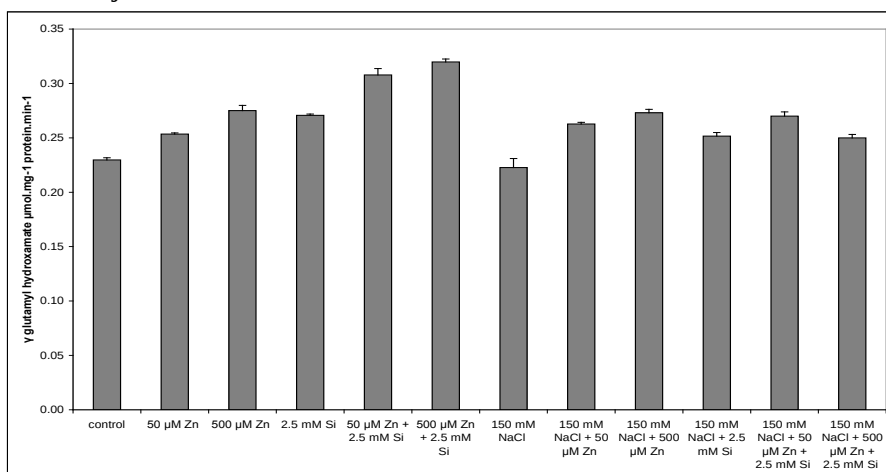
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Naměřené V koreni aj v koleoptile sme po 24 a 48 h v podmienkach bez pôsobenia stresu zo zasolenia (NaCl) zaznamenali podobné hodnoty v aktivite glutamínsyntetázy (GS). NaCl stres len málo znížil GS aktivitu v koreni a v koleoptile nespôsobil výraznejšie zmeny. V listoch pšenice sa GS aktivita mení v závislosti od koncentrácie soli v živnom roztoku /12/. Kremík (Si) ovplyvnil GS aktivitu po dlhšom časovom pôsobení, v koreni sme zaznamenali jej zvýšenie o 17,39 % a v koleoptile zníženie o 11,34 %. Zn v podmienkach bez NaCl stresu spôsobil významné zvýšenie GS aktivity v koreni (výraznejšie pri vyššej koncentrácii) a zníženie v koleoptile, v porovnaní s kontrolou. Podľa predošlých výskumov na trávach /8/ Zn inhibuje GS aktivitu. Spolupôsobenie Zn (obe koncentrácie) a Si výrazne zvýšilo GS aktivitu v koreni po 48 h, v porovnaní nielen s kontrolou, ale aj variantom so samotným Zn alebo Si (Grafy 1 a 2).

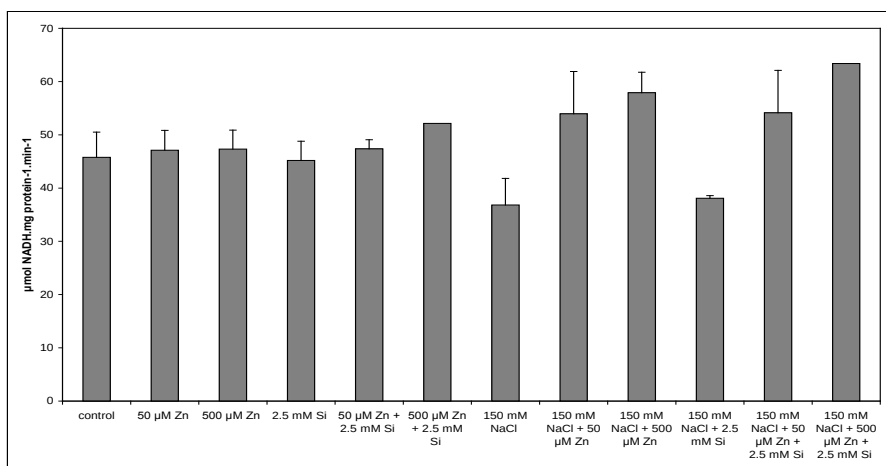
Následkom pôsobenia Zn v podmienkach NaCl stresu sme zaznamenali zvýšenú GS aktivitu v koreni po 48 h, v porovnaní s variantom so soľou, pričom pri uvedených variantoch (NaCl + Zn, NaCl + Si) sa dosahovali podobné hodnoty ako v podmienkach bez stresu. Výrazný rozdiel pod vplyvom NaCl stresu sme zistili pri spolupôsobení Zn a Si, ktoré spôsobilo pokles GS aktivity v porovnaní s podmienkami bez stresu (Grafy 1 a 2).

Glutamátdehydrogenáza (GDH) mala v podmienkach bez zasolenia výrazne vyššiu aktivitu v koreni než v koleoptile. NaCl stres spôsobil zníženie GDH aktivity, výraznejšie v koleoptile ako v koreni. Podľa predchádzajúcich štúdií /6/ ku zmene GDH aktivity

v rastlinách dochádza podľa ich schopnosti tolerovať soľ, pri tolerantných sa zvyšuje a pri citlivých znižuje.



Graf 1: Vplyv Zn, Si a/alebo NaCl na aktivitu glutamínsyntetázy v koreni kukurice (*Zea mays* L. cv. Valentína), po 48 h (priemerná hodnota  $\pm$  SE)



Graf 2: Vplyv Zn, Si a/alebo NaCl na aktivitu glutamátdehydrogenázy v koreni kukurice (*Zea mays* L. cv. Valentína), po 48 h (priemerná hodnota  $\pm$  SE)

Následkom prítomnosti Si sa aktivita GDH znížila. Samotný Zn v porovnaní s kontrolou nemal výrazný vplyv na GDH aktivitu v médiách bez NaCl. Spolupôsobenie Zn vo vyššej koncentrácii a Si v podmienkach bez zasolenia výrazne zvýšilo GDH aktivitu v porovnaní so všetkými ostatnými variantami. Naopak, v prostredí s NaCl spôsobil Zn výrazné zvýšenie GDH, najmä v koleoptile, v porovnaní s variantom s NaCl. Pri spolupôsobení Zn a Si sme v podmienkach NaCl stresu zaznamenali ďalšie zvýšenie GDH aktivity v porovnaní s podmienkami bez prítomnosti NaCl.

## LITERATÚRA

- /1/ Bradford, M.M.: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem., 72, 1976: 248-254.
- /2/ Davies, B.E.: Radish as an indicator plant for derelict land – uptake of zinc at toxic concentrations. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 24, 1993: 1883-1895.

- /3/ Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxová, M., Lux, A.: Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, 4, 2005: 459-466.
- /4/ Hoagland, D.R., Arnon, D.I.: The water-culture method for growing plants without soil. California Experiment Station Circular 347, The College of Agriculture, University of California, Berkeley. 1950.
- /5/ Kant, S., Kant, P., Lips, H., Barak, S.: Partial substitution of  $\text{NO}_3^-$  by  $\text{NH}_4^+$  fertilization increases ammonia assimilating enzyme activities and reduces the deleterious effects of salinity on the growth of barley. *Journal of Plant Physiology*, 164, 2007: 303—311.
- /6/ Kumar, R.G., Shah, S., Dubey, R.S.: Salinity induced behavioural changes in malate dehydrogenase and glutamate dehydrogenase activities in rice seedlings of differing salt tolerance. *Plant Science*, 156, 2000: 23–34.
- /7/ O'Neal, D., Joy, K.W.: Glutamine synthetase of pea leaves. I. Purification, stabilization, and pH optima. *Arch Biochem Biophys*, 159, 1973: 113-122.
- /8/ Smirnoff, N., Stewart, G.R.: Glutamine synthetase and ammonium assimilation in roots of zinc-tolerant and non-tolerant clones of *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. and *Anthoxanthum odoratum* L. *New Phytol.*, 107, 1987: 659-670.
- /9/ Sommer, A.L., Lipman, C.B.: Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiology*, 1, 1926: 231-249.
- /10/ Tester, M., Davenport, R.:  $\text{Na}^+$  tolerance and  $\text{Na}^+$  transport in higher plants. *Ann Bot.*, 91, 2003: 1–25.
- /11/ Turano, F.J., Dashner, R., Upadhyaya, A., Caldwell, C.R., Baughan, G.: Characterization of the glutamate dehydrogenase isoenzyme system in germinating soybean. *Plant Science*, 135, 1998: 137-148.
- /12/ Wang, Z.Q., Yuan, Y.Z., Ou, J.Q., Lin, Q.H., Zhang C.F.: Glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase contribute differentially to proline accumulation in leaves of wheat (*Triticum aestivum*) seedlings exposed to different salinity. *Journal of Plant Physiology*, 164, 2007: 695—701.

## Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0140-10 a projektom VEGA 2/0022/13.

## ASSESSMENT OF BIOCHEMICAL, PHYSIOLOGICAL AND HISTOCHEMICAL CHARACTERISTIC IN *LEMNA MINOR* TREATED BY FLUORANTHENE

### HODNOCENÍ BIOCHEMICKÝCH, FYZIOLOGICKÝCH A HISTOCHEMICKÝCH CHARAKTERISTIK *LEMNA MINOR* ZATÍŽENÝCH FLUORANTHENEM

Marie Kummerová<sup>1</sup>, Štěpán Zezulka<sup>1</sup>, Petr Babula<sup>2</sup>, Lucie Váňová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Masarykova univerzita Brno, Přírodovědecká fakulta, Ústav experimentální biologie – odd. fyziologie a anatomie rostlin, Kotlářská 2, 602 00 Brno, kumerova@sci.muni.cz

<sup>2</sup> Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Farmaceutická fakulta, Ústav přírodních léčiv – odd. botaniky, Palackého tř. 1/3, 602 00 Brno

#### Summary

Results of this study confirmed that fluoranthene (FLT; 0.1 and 1 mg l<sup>-1</sup>) did influence negatively neither the growth nor the chlorophyll fluorescence parameters of duckweed (*Lemna minor* L.) during 10 days of cultivation. On the other hand, the content of hydrogen peroxide and malondialdehyde in duckweed tissues significantly increased. The ratio of oxidized and reduced forms of thiols demonstrated, that the presence of FLT caused considerable increase of reduced thiols content and the relative portion of oxidized form was the highest in FLT concentration of 1 mg l<sup>-1</sup>.

**Keywords:** fluoranthene, *Lemna minor* L., growth, hydrogen peroxide, thiols

#### Souhrn

Výsledky této studie potvrdily, že fluoranthen (FLT; 0.1 a 1 mg l<sup>-1</sup>) neovlivnil negativně ani růst, ani parametry fluorescence chlorofylu okřehku (*Lemna minor* L.) během desetidenní kultivace. Na druhou stranu, obsah peroxidu vodíku a malondialdehydu se v pletivech okřehku významně zvýšil. Z poměru oxidovaných a redukovaných forem thiolů vyplývá, že v důsledku přítomnosti FLT se významně zvyšoval obsah redukované formy a relativní podíl oxidovaných thiolů byl nejvyšší při koncentraci FLT 1 mg l<sup>-1</sup>.

**Klíčová slova:** fluoranthen, *Lemna minor* L., růst, peroxid vodíku, thiol

## INTRODUCTION

Aquatic plants are represented by a variety of algal and macrophytic species that occur in many types of habitats. They are important in oxygen production, nutrient cycling, controlling water quality, sediment stabilization and providing habitat and shelter for aquatic organisms. Changes in the community dynamics of aquatic plants can affect not only biota but also the quality of water /1/. Contamination of surface waters with organic pollutants including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), a group of harmful micropollutants with high persistence in the environment, tendency for (bio-)accumulation and high toxicity /2/, exposes non-target microorganisms, plants, and animals to compounds that may have an

adverse effect on individual organisms or biotic communities. Phytotoxicity tests, where duckweed (*Lemna minor* L.) is used as a test organism, usually assess growth parameters like number of plants, leaf area and weight of the biomass /3/, or the content of photosynthetic pigments /4/. However, growth responses are preceded by changes in biochemical and physiological processes and therefore the results of such tests could be underestimated. Individual parameters, which can be widely used as „biomarkers“ to provide an early warning of potential hazards /5, 6/, are intensively studied. The aim of this study was to consider the sensitivity of not only commonly assessed growth parameters, but also physiological and biochemical markers of stressor effect on duckweed. Selected histochemical methods were then used to study only rarely investigated changes on the cellular and tissue levels. Fluoranthene was selected from the PAHs family as one of the most frequent polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment. Used concentrations of FLT simulated low and medium (0.1 and 1 mg l<sup>-1</sup>) environmental loading.

## MATERIALS AND METHODS

Fluoranthene (Supelco, USA) was dissolved in acetone (Labscan, Ireland) to the concentration of 1250 mg l<sup>-1</sup>. This FLT stock solution was delivered to sterile Steinberg medium (SM; pH 5.5±0.2; ČSN EN ISO 20079) to final FLT concentrations of 0.1 and 1 mg l<sup>-1</sup>. An experimental plant was duckweed (*Lemna minor* L.) and its cultivation was done under controlled conditions (temperature 22±2 °C, relative air humidity 60%, irradiance 150 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> provided by white fluorescent tubes, photoperiod 12/12) in transparent 6-well plates. At the beginning of the experiment (day 0) and after 4 and 10 days of cultivation in each treatment the number of plants, dry weight, selected parameters of chlorophyll fluorescence and biochemical stress markers were studied. A set of chlorophyll fluorescence parameters was determined from an analysis of slow kinetics supplemented with saturation pulses (recorded by a fluorescence imaging system HandyCam, PSI, Czech Republic). Hydrogen peroxide content was determined spectrophotometrically using TiCl<sub>4</sub> at λ = 410 nm /7/. Malondialdehyde (MDA) was estimated using the standard curve in Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) assay /8/. Reduced thiols content was determined by spectrophotometry (λ = 412 nm) using dithio-bis-nitrobenzoic acid (DTNB, Sigma-Aldrich, USA) reagent /9/. Total thiols content – both reduced and oxidized - was determined after the reduction of oxidized thiols by DL-dithiotreitol (DTT, Sigma-Aldrich, USA). Oxidized thiols content was calculated as the difference between total and reduced levels of glutathione. Results were statistically processed by means of ANOVA method and Tukey HSD test at P<0.05.

## RESULTS AND DISCUSSION

Changes in chlorophyll fluorescence parameters (maximum quantum yield of photosystem II – F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>, effective quantum yield of electron transport in photosystem II – Yield, Φ<sub>II</sub>, and non-photochemical quenching – NPQ) usually signal an effect of stressor to primary processes of photosynthesis. As shown in Tab. 1, primary photosynthetic processes in duckweed treated by FLT during 10-days cultivation were not influenced negatively. This fact

probably took part even in minor changes in growth of the plants, both their number and biomass production (Fig. 1).

Tab. 1: Effect of fluoranthene (FLT; 0.1 and 1 mg l<sup>-1</sup>) on parameters of induced chlorophyll fluorescence – maximum quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ), effective quantum yield of electron transport in photosystem II (Yield,  $\Phi_{II}$ ) and non-photochemical quenching (NPQ) in *Lemna minor*, cultivated for 4 and 10 days in Steinberg nutrient solution.

| Days of cultivation | FLT (mg l <sup>-1</sup> ) | $F_v/F_m$                | Yield ( $\Phi_{II}$ )    | NPQ                       |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0                   | 0                         | 0.77 ± 0.01              | 0.50 ± 0.02              | 0.37 ± 0.06               |
| 4                   | 0                         | 0.80 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.51 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.51 ± 0.02 <sup>a</sup>  |
|                     | 0.1                       | 0.80 ± 0.00 <sup>a</sup> | 0.51 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.59 ± 0.04 <sup>b</sup>  |
|                     | 1                         | 0.81 ± 0.00 <sup>b</sup> | 0.49 ± 0.02 <sup>a</sup> | 0.62 ± 0.04 <sup>b</sup>  |
| 10                  | 0                         | 0.71 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.36 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.51 ± 0.02 <sup>a</sup>  |
|                     | 0.1                       | 0.72 ± 0.01 <sup>b</sup> | 0.40 ± 0.02 <sup>b</sup> | 0.45 ± 0.03 <sup>b</sup>  |
|                     | 1                         | 0.77 ± 0.00 <sup>c</sup> | 0.46 ± 0.01 <sup>c</sup> | 0.46 ± 0.04 <sup>ab</sup> |

Data represent mean ± standard deviation over 6 repetitions. Different letters show statistically significant differences at  $P < 0.05$  (ANOVA, Tukey HSD test).

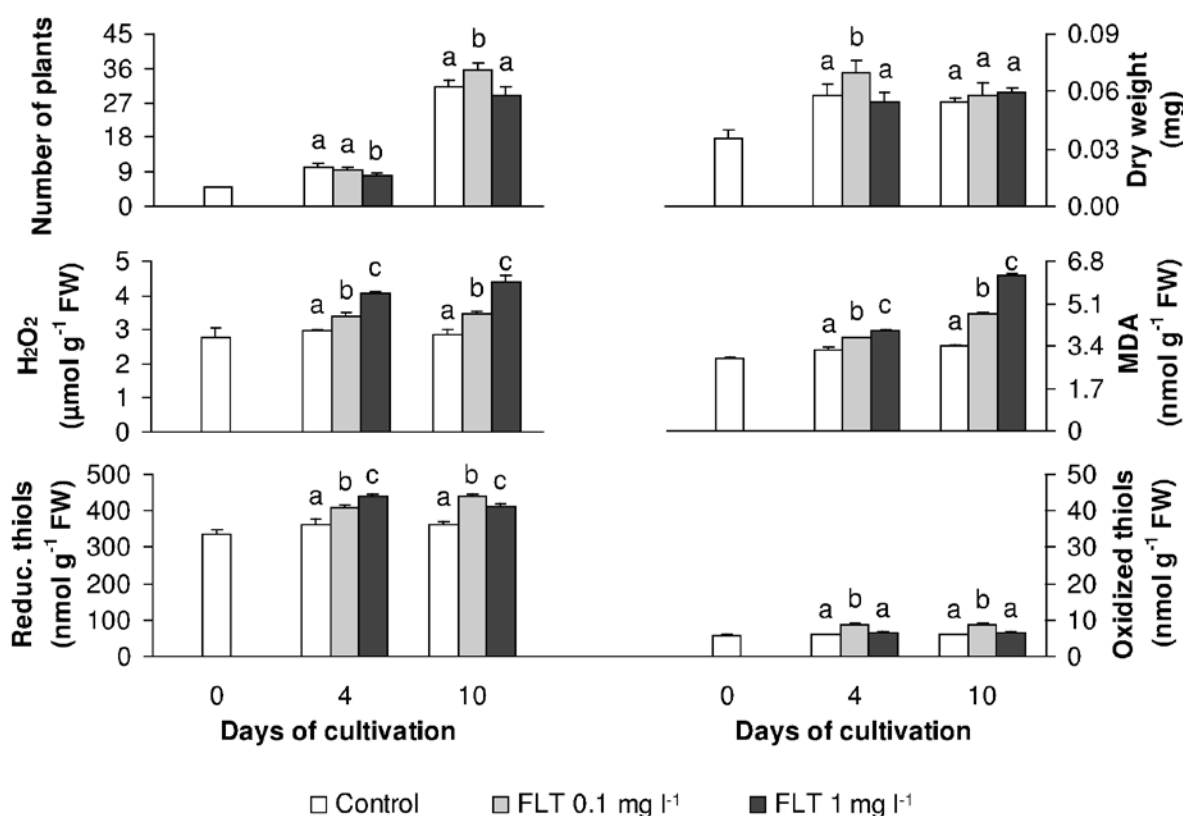


Fig. 1: Number of plants, dry weight (mg), content of hydrogen peroxide ( $\mu\text{mol g}^{-1}$  FW), malondialdehyde ( $\text{nmol g}^{-1}$  FW) and reduced and oxidized thiols (both  $\text{nmol g}^{-1}$  FW) and their ratio in *Lemna minor* exposed for 4 and 10 days to fluoranthene (FLT; 0.1 and 1 mg l<sup>-1</sup>) in Steinberg nutrient solution. Data represent mean ± standard deviation over 6 repetitions. Different letters show statistically significant differences at  $P < 0.05$  (ANOVA, Tukey HSD test).



As stated by e.g. /10/, often recommended biomass production parameter after 10-days exposure especially in case of duckweed doesn't allow evaluate precisely the effect of contaminants – neither toxic metals, nor organic pollutants as proved in this study.

Growth responses are usually preceded by changes in biochemical processes at subcellular level and therefore the results of such short-term toxicity tests could be underestimated. The proof of considerable FLT impact on biochemical processes in duckweed plants during 10-days cultivation is given by strongly increased production of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and MDA representing an increased production of reactive oxygen species and lipid peroxidation. The presence of FLT especially in the concentration of 1 mg l<sup>-1</sup> led also to significantly increased production of thiols and simultaneously to increased portion of oxidized thiols, which proves the effect of oxidative stress.

With respect to probably lower sensitivity of duckweed the risk of environmental contamination could be underestimated if the standard conditions of the toxicity test are kept. The concentration of FLT 1 mg l<sup>-1</sup> represents quite high level of environmental loading which is able to cause negative changes in all above-mentioned parameters in terrestrial species after the same exposure period /11/.

## REFERENCES

- /1/ Lewis, M.: Use of freshwater plants for phytotoxicity testing: A review. *Environmental Pollution*, 87, 1995: 319-336
- /2/ Schrenk, C., Steinberg, C.E.: Metabolism of phenatrene in cell suspension cultures of wheat and soybean as well as in intact plants of the water moss *Fontinalis antipyretica*: A comparative study. *Environmental Science and Pollution Research*, 5, 1998: 83-88
- /3/ OECD: Test No. 221: *Lemna* sp. Growth Inhibition Test. In: *OECD Guidelines for the Testing of Chemicals*, Section 2-Effects on Biotic Systems, OECD Publishing, 2006: ISBN: 9789264016194, DOI: 10.1787/9789264016194-en, 22p
- /4/ Paczkowska, M., Kozłowska, M., Goliński, P.: Oxidative stress enzyme activity in *Lemna minor* L. exposed to cadmium and lead. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 49, 2007: 33-37
- /5/ Xu, L., Zheng, G. J., Lam, P. K. S., Richardson, B. J.: Relationship between tissue concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons and DNA adducts in green-lipped mussels (*Perna viridis*). *Ecotoxicology*, 8, 1999: 73-82
- /6/ Kummerová, M., Váňová, L., Fišerová, H., Klemš, M., Zezulka, Š., Krulová, J.: Understanding the effect of organic pollutant fluoranthene on pea in vitro using cytokinins, ethylene, ethane and carbon dioxide as indicators. *Plant Growth Regulation*, 61, 2010: 161-174
- /7/ Kovacik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J., Stork, F., Backor, M.: Comparison of cadmium and copper effect on phenolic metabolism, mineral nutrients and stress-related parameters in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant and Soil*, 320, 2009: 231-242
- /8/ Stewart, R. R. C., Bewley, J. D.: Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 65, 1980: 245-248
- /9/ Ellman, G. L.: Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82, 1959: 70-77
- /10/ Drost, W., Matuje, M., Backhaus, T.: Heavy metal toxicity to *Lemna minor*: studies on the time dependence of growth inhibition and the recovery after exposure. *Chemosphere*, 67, 2007: 36-43
- /11/ Kummerová, M., Krulová, J., Zezulka, Š., Tříska, J.: Evaluation of fluoranthene phytotoxicity in pea plants by Hill reaction and chlorophyll fluorescence. *Chemosphere*, 65, 2006: 489-496.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study originated from the specific research at the university.

## **VLIV TOXICKÝCH KOVŮ NA RŮST JETELE (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.)**

### ***THE INFLUENCE OF TOXIC METALS ON GROWTH OF RED CLOVER (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.)***

Klára Anna Mocová, Hana Palková, Tomáš Sopř

VŠCHT Praha, Ústav chemie ochrany prostředí, Technická 5, Praha 6 - Dejvice, 166 28,  
Klara.Mocova@vscht.cz

#### ***Summary***

Red clover (*Trifolium pratense* L.) plants were grown for three weeks in soil artificially contaminated with cadmium and lead. The presence of toxic metals had negative effect on plant growth in all parameters observed in following order, shoot fresh mass < main root length < total root length. Results exhibit the importance of evaluation of soil contaminants effect on root system branching which can be estimated by digital image analysis as the sum of main root length and all lateral roots length (*i.e.* total root length). We suggest that this parameter describes the degree of soil phytotoxicity the best way.

*Key words: red clover, Trifolium pratense L., toxic metals, cadmium, lead, soil, phytotoxicity, total root length*

#### ***Souhrn***

Rostliny jetele (*Trifolium pratense* L.) byly pěstovány po dobu tří týdnů v půdě uměle kontaminované kadmíem a olovem. Přítomnost toxických kovů v půdě měla negativní vliv na růst rostlin ve všech sledovaných parametrech v pořadí: čerstvá hmotnost nadzemních částí < délka hlavního kořene < celková délka kořene. Výsledky poukazují na význam hodnocení vlivu půdních kontaminantů na větvení kořenového systému, které lze stanovit pomocí digitální analýzy obrazu jako součet délek hlavního i všech postranních kořenů na rostlině (tj. celková délka kořene). Tento námi navrhovaný parametr vystihuje míru fytotoxicity půd nejlépe.

*Klíčová slova: jetele, Trifolium pratense L., toxické kovy, kadmium, olovo, půda, fytotoxicita, celková délka kořene*

## **ÚVOD**

V poslední době stoupá vlivem antropogenní činnosti míra znečištění životního prostředí. Mezi nejčastější kontaminanty patří těžké kovy představující riziko pro všechny články ekosystémů. Metody chemické analýzy umožňují kvalitativně i kvantitativně detekovat toxické kovy v prostředí, nepodávají však žádné informace o jejich vlivu na organismy. Z těchto důvodů je důležité hodnotit složky životního prostředí také z hlediska jejich ekotoxicity.

Tato práce byla zaměřena na terestrické testy fytotoxicity. Pro studii byl navržen dlouhodobý kontaktní test s jetelem na bázi metodiky uvedené v normě ISO 11269-2 /1/. Hodnocení fytotoxicity bylo však rozšířeno o další morfologické parametry.

## MATERIÁL A METODA

Jako půdní materiál byla zvolena uměle připravená zemina, připravená v souladu s ČSN EN 14735 /2/, tj. ze 70 % písku (Stavebniny HOSANA, spol. s r. o. Praha – Podolí), 20 % jílu (České lupkové závody a.s. Pecínov) a 10 % rašeliny (AGRO CS a.s. Říkov). pH umělé půdy bylo upraveno na hodnotu  $6,0 \pm 0,5$  přidáním uhličitanu vápenatého v množství 0,25 % na celkovou hmotnost zeminy. Obsah celkového organického uhlíku (TOC) činil 7,1 %. Rovněž byla provedena umělá kontaminace umělé půdy kadmii a olovem, dodávaných ve formě dusičnanů (Lachema a.s. závod Neratovice). Koncentrace kovů v zásobním vzorku byla  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  kadmia a  $4000 \text{ mg.kg}^{-1}$  olova. Vzorek byl dále naředěn na koncentrace 25 %, 50 %, 75 % a 100 %. Jako kontrola (0 %) sloužila čistá umělá zemina.

Na základě předchozích experimentů /3/ byla pro testování fytotoxicity vybrána odrůda jetele (*Trifolium pratense* L.) Slavín. Semena byla získána od šlechtitelské stanice Slavice, AGROGEN spol. s.r.o. Troubsko.

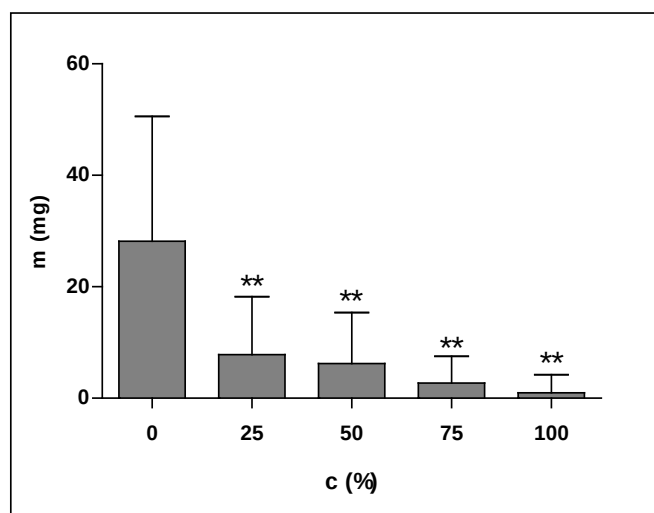
Semena byla předklíčována na vlhkém filtračním papíře při laboratorní teplotě za nepřístupu světla po dobu 30 h. Naklíčená semena byla zaseta do testovaných půdních vzorků (květináče o rozměrech  $9 \times 9 \times 10 \text{ cm}$ , 7 semen/květináč, ve 3 opakováních) a umístěna do kultivátoru se světelným režimem 16 h/8 h (světlo/tma) a teplotou  $22 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . V průběhu 21denní expozice byly rostliny pravidelně zalévány svrchu 2 – 3× týdně tak, aby byla udržována vlhkost půdy na 70 % vodní kapacity půdy (WHC). Volbě způsobu a četnosti závlivy předcházely testy optimalizace vlhkosti. Rostliny byly následně vyjmuty z půdy a pečlivě omyty od zbytků půdy. Na čerstvém materiálu byla stanovena hmotnost nadzemní části rostlin, délka hlavního kořene a celková délka kořenového systému, která byla definována jako součet délky hlavního kořene a všech postranních kořenů, a vyhodnocena pomocí digitální analýzy obrazu (NIS Elements 3.0 /4/). Čerstvý a usušený rostlinný materiál byl použit pro další analýzy (stanovení obsahu chlorofylu a kovů), jejichž výsledky zde neuvádíme. Výsledky měření byly statisticky hodnoceny pomocí analýzy rozptylu a Dunnettova testu (GraphPad Prism 5 /5/).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

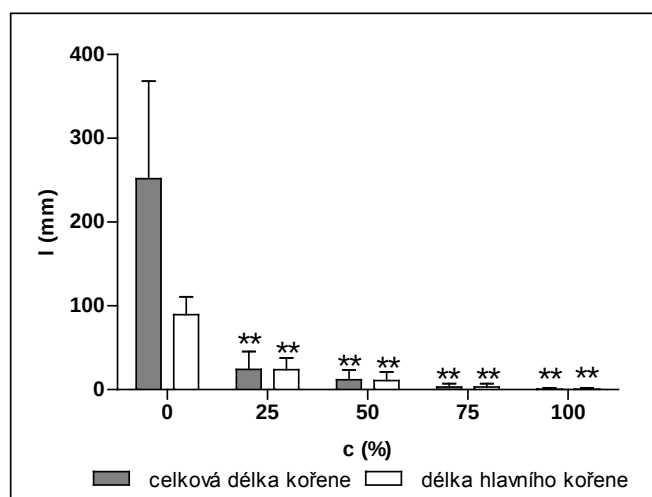
Exponované rostliny reagovaly na přítomnost toxických iontů jak potlačením růstu nadzemních částí (Graf 1), tak snížením elongace hlavního kořene i snížením růstu kořenového systému jako celku (Graf 2). Růst rostlin se úměrně snižoval se zvyšujícím se obsahem kadmia a olova v půdě. Analýza rozptylu ukázala rozdíly mezi různými řaděními kontaminované zeminy a pomocí Dunnettova testu byly potvrzeny průkazné rozdíly mezi kontrolními a exponovanými rostlinami jak ve všech testovaných koncentracích kovů, tak ve všech sledovaných charakteristikách pokusných rostlin.

Negativní vliv toxických kovů se nejvíce projevil na růstu kořene, a to především při hodnocení celkové délky kořenového systému. V současnosti platná mezinárodní norma /1,6/ udává jako parametry pro hodnocení fytotoxicity půd v krátkodobé variantě testu (cca 5 dní) délku nejdelšího kořene, který v případě jetele odpovídá hlavnímu kořeni, a v dlouhodobé

variantě testu (3 – 4 týdny) čerstvou nebo suchou hmotnost nadzemní části. Měření délky hlavního kořene však nepostihuje morfologii kořenového systému jako celku, především míru větvení. V této práci byl zjištěn negativní vliv kadmia a olova jak na elongaci hlavního kořene, tak na vytváření postranních kořenů (Graf 2). Výrazné potlačení větvení kořenového systému se projevilo již v 25% vzorku, kdy inhibice růstu celkového kořene činila 90 % (Tab. 1). V nejvyšších testovaných koncentracích (75% a 100% vzorek) se již postranní kořeny nevytvářely vůbec. Vliv kadmia na redukci růstu postranních kořenů byl zjištěn již dříve [7, 8, 9].



Graf 1: Průměrné hodnoty čerstvé hmotnosti nadzemních částí rostlin v závislosti na koncentraci uměle kontaminovaného vzorku. Legenda: 100 % = 50 mg.kg<sup>-1</sup> Cd a 4000 mg.kg<sup>-1</sup> Pb, \*\* = statisticky významný rozdíl oproti kontrole (vzorek 0 %) na hladině významnosti  $\alpha = 0,01$ .



Graf 2: Průměrné hodnoty délky kořenů rostlin v závislosti na koncentraci uměle kontaminovaného vzorku. Legenda: 100 % = 50 mg.kg<sup>-1</sup> Cd a 4000 mg.kg<sup>-1</sup> Pb, \*\* = statisticky významný rozdíl oproti kontrole (vzorek 0 %) na hladině významnosti  $\alpha = 0,01$

Z výsledků dále vyplývá, že kadmium a olovo má výraznější účinek na kořenový systém, tedy orgán, kterým je rostlina přijímá, než na nadzemní část, kam se dostávají až sekundárně. Pouze v případě 100% vzorku byla inhibice růstu exponovaných rostlin ve všech sledovaných charakteristikách téměř shodná (Tab. 1). Domníváme se proto, že je vhodné do dlouhodobé varianty testu fytotoxicity kontaminovaných půd zahrnout vedle stanovení hmotnosti nadzemních částí současně také hodnocení růstu kořenového systému, který je místem vstupu a tedy i potenciálně prvním místem působení toxických látek. Měření délky nejdelšího (hlavního) kořene doporučujeme rozšířit o hodnocení celkové délky kořenového systému.

Tab. 1: Inhibice růstu kořenů a nadzemních částí jetele pěstovaného v půdě kontaminované kadmíem a olovem

| vzorek | celková délka kořene | délka hlavního kořene | čerstvá hmotnost nadzemních částí |
|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 25 %   | 90,4                 | 74,9                  | 68,3                              |
| 50 %   | 95,3                 | 87,8                  | 74,8                              |
| 75 %   | 98,7                 | 96,5                  | 88,9                              |
| 100 %  | 99,8                 | 99,3                  | 96,1                              |

Inhibice růstu je vyjádřena v % ve srovnání s růstem kontrolních rostlin. Obsah toxických kovů ve 100% vzorku: 50 mg.kg<sup>-1</sup> (Cd/půda) a 4000 mg.kg<sup>-1</sup> (Pb/půda).

## LITERATURA

- /1/ ISO 11269-2 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 2: Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants, 1995. 17 p.
- /2/ ČSN EN 14735 Charakterizace odpadů – Příprava vzorků odpadu pro testy toxicity, 2007. 44 p.
- /3/ Motejllová, H., Sopr, T., Mocová, K.A.: Vliv toxických kovů na klíčivost vybraných odrůd *Trifolium pratense* L. *Lolium perenne* L. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2010. VÚRV, v.v.i., ČZU v Praze, Praha, 10. - 11.2. 2010, 2010: 249-252. ISBN: 978-80-213-2048-2.
- /4/ NIS Elements [CR-ROM]. Ver. 3.0 b555. Praha: Laboratory Imaging, 2011.
- /5/ GraphPad Prism [CR-ROM]. Ver. 5.01. La Jolla: GraphPad Software, Inc., 2009.
- /6/ ISO 11269-1 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth, 1993. 16 p.
- /7/ Masarovičová, E., Kral'ová, K., Kummerová, M., Kmentová, E.: The effect of cadmium on root growth and respiration rate of two medicinal plant species. *Biologia* 59, 2004: 211-214.
- /8/ Rodriguez-Serrano, M., Romero-Puertas, M.C., Zablza, A., Corpas, F.J., Gomez, I., Del Rio, L.A., Sandalio, M.L.: Cadmium effect on oxidative metabolism of pea (*Pisum sativum* L.) roots. Imaging of reactive oxygen species and nitric oxide accumulation in vivo. *Plant cell and Environment* 29, 2006: 1532-1544.
- /9/ Shafi, M., Zhang, G.P., Bakht, J., Khan, M.A., Ejaz-ul-Islam, Khan, M.D., Raziuddin: Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. *Pakistan Journal of Botany* 42, 2010: 2747-2754.

## Poděkování

Tato práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MSM 6046137308.

## **VPLYV NIKLU NA RASTOVÉ A BIOCHEMICKÉ UKAZOVATELE HYDROPONICKY PESTOVANÝCH RASTLÍN *BRASSICA NAPUS* L.**

### ***INFLUENCE OF NICKEL ON GROWTH AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF HYDROPONICALLY CULTIVATED *BRASSICA NAPUS* L. PLANTS***

Matúš Peško, Katarína Kráľová

Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina CH-2, SK-842 15 Bratislava, Slovenská republika; e-mail: matus.pesko@gmail.com

#### ***Summary***

The influence of nickel on growth and biochemical indicators of hydroponically cultivated *Brassica napus* L. (cv. Viking) plants was evaluated. The applied Ni concentration varied in the range from 6 to 120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ . Presence of Ni in external solution resulted in reduced length as well as dry mass of rapeseed plant organs and the inhibitory effect of Ni increased with increasing metal concentration in the external solution. Due to Ni application significant decrease in the concentration of assimilation pigments (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids) and proteins in plant leaves was observed. The concentration of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) rose rapidly with the increasing Ni concentration. Accumulation of nickel in roots was approximately 6 to 13- times higher than that in shoots.

*Key words: accumulation, assimilation pigments, nickel, proteins, rapeseed, TBARS*

#### ***Súhrn***

Študoval sa vplyv niklu na rastové a biochemické ukazovatele hydroponicky pestovaných rastlín *Brassica napus* L. (cv. Viking). Použitý koncentračný interval Ni bol 6 až 120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ . V dôsledku aplikácie Ni dochádzalo k redukcii suchej hmotnosti a dĺžky rastlinných orgánov rastlín *B. napus*, pričom inhibičný účinok Ni so zvyšujúcou sa koncentráciou kovu v hydroponickom roztoku narastal. Aplikácia Ni mala za následok významný pokles koncentrácie asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b*, karotenoidy) a proteínov v listoch rastlín. Koncentrácia látok reagujúcich s kyselinou tiobarbiturovou (TBARS) v listoch so zvyšujúcou sa koncentráciou Ni prudko rástla. Akumulácia niklu v koreňoch bola približne 6 až 13-krát vyššia ako vo výhonkoch.

*Kľúčové slová: akumulácia, asimilačné pigmenty, nikel, proteíny, repka olejka, TBARS*

## **ÚVOD**

Kontaminácia životného prostredia ťažkými kovmi predstavuje v dnešnej dobe významný ekologický problém. Zdrojom týchto kontaminantov sú predovšetkým znečistené priemyselné odpadové vody. Ekologická nevedomosť a nedostatočná legislatíva mnohých krajín viedla k významnej akumulácii ťažkých kovov v pôdach a vodných tokoch, čo nepriaznivo vplýva na všetky živé organizmy, počnúc baktériami a končiac človekom [1]. Napriek tomu, že nikel patrí medzi esenciálne mikroživiny rastlín, v nadbytku má toxické účinky, ktoré sa prejavujú napr. spomalením klíčenia semien, inhibíciou rastu rastlín,

chlorózou a nekrózou listov a narušením procesu fotosyntézy. Toxické účinky Ni sú tiež spojené s narušením príjmu a transportu iných esenciálnych iónov kovov, ako napr. meď, železo a zinok a s indukciou oxidačného stresu, ktorý vedie napríklad k peroxidácii lipidov, poškodeniu DNA a k zmenám v zložení bunkových membrán /2/.

*Brassica napus* L. (repka olejka) je významná hospodárska plodina. Niektoré kultivary repky olejky sa vyznačujú schopnosťou akumulovať v pletivách rastlinných orgánov relatívne vysoké koncentrácie toxických kovov, čo radí túto plodinu medzi druhy rastlín využiteľných vo fytoextrakčných technológiách /3/. Odroda repky olejky Viking je vhodná aj do teplejších oblastí. Má vyšší obsah oleja a stabilne nízky obsah glukosinolátov. Používa sa na výrobu šrotov a pokrutín v kŕmnej dávke pre zvieratá /4/.

Cieľom práce bolo študovať vplyv niklu na rastové parametre rastlín, na koncentráciu asimilačných pigmentov, proteínov a látok reagujúcich s kyselinou tiobarbiturovou (TBARS) nachádzajúcich sa v listoch, ako aj na bioakumuláciu Ni v rastlinných orgánoch u hydroponicky pestovaných rastlín *B. napus*, cv. Viking.

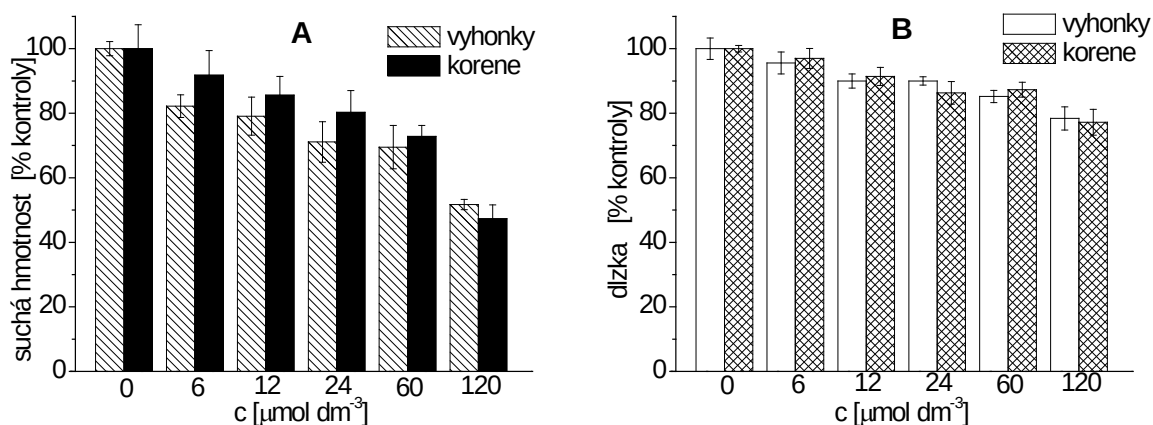
## MATERIÁL A METÓDY

Na kultiváciu experimentálnych rastlín sa použili semená repky olejky, cv. Viking, ktoré nám poskytol SCPV- VÚRV v Piešťanoch. Semená repky olejky sa vysiali do pôdy a po troch týždňoch sa premiestnili do Hoaglandovho roztoku s obsahom 0, 6, 12, 24, 60 a 120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$   $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Po 7-dennej kultivácii v kontrolovaných podmienkach (16 h svetlo/8 h tma; žiarenie: 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  PAR; priemerná teplota vzduchu: 25 °C) sa stanovila dĺžka, ako aj čerstvá a suchá hmotnosť koreňov a výhonkov rastlín. Koncentrácia asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy) v listoch rastlín sa po extrakcii 80 %-ým acetónom stanovila spektrofotometricky (Genesys 6, Thermo Scientific, U.S.A) a vyhodnotila podľa /5/. Na stanovenie koncentrácií ďalších študovaných biochemických ukazovateľov (proteíny a TBARS) sa použil homogenát pripravený z čerstvých listov. Metódy stanovenia uvedených biochemických ukazovateľov sú podrobne popísané práci /6/. Obsah Ni v rastlinných orgánoch sa stanovil pomocou AAS (Perkin Elmer 1100, USA) metódou popísanou v práci /7/.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Naměřené U 21-dňových rastlín *B. napus*, ktoré sa pestovali hydroponicky v prítomnosti Ni po dobu 7 dní sa už po aplikácii najnižších koncentrácií tohto kovu (6, resp. 12  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ ) objavili na listoch známky chlorózy. Aplikácia koncentrácie 24  $\mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni spôsobila výrazné rozšírenie chlorózy, pričom niektoré listy boli mierne zvädnuté. Ďalším zvyšovaním koncentrácie sa na listoch okrem chlorózy objavili aj suché (60 a 120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ ) a nekrotické (120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ ) miesta. Korene rastlín boli zhnednuté (60 a 120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ ) a oproti kontrole subtilnejšie (120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$ ). Závislosť suchej hmotnosti výhonkov a koreňov ako aj dĺžky výhonkov a koreňov rastlín repky olejky cv. Viking od aplikovanej koncentrácie Ni je znázornená na obr. 1. So zvyšovaním koncentrácie Ni dochádzalo k redukcii týchto parametrov v porovnaní s kontrolou, pričom všeobecne možno konštatovať, že suchá hmotnosť rastlinných orgánov (obr. 1A) bola nepriaznivo ovplyvnená vo väčšej miere ako ich dĺžka (obr. 1B). V koncentračnom rozsahu Ni 6-60  $\mu\text{mol dm}^{-3}$  reagovali výhonky rastlín na

prítomnosť Ni v hydroponickom roztoku citlivejšie ako korene. Pokles suchej hmotnosti jednotlivých orgánov sa pohyboval v rozsahu 17,8 % ( $6 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) - 48,3 % ( $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) pre výhonky a 8,2 % ( $6 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) - 52,7 % ( $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) pre korene v porovnaní s kontrolou. Po aplikácii najvyššej koncentrácie niklu ( $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) došlo k redukcii dĺžok výhonkov a koreňov o 21,6%, resp. 22,8%. Výrazný pokles suchej hmotnosti môže byť výsledkom porúch, ktoré nikel spôsobil v reakciách Calvinovho cyklu a inhibíciou transportu elektrónov spôsobenou nadbytkom ATP a NADPH, ktoré sa nahromadili v dôsledku neúčinných reakcií tmavej fázy fotosyntézy /8/.



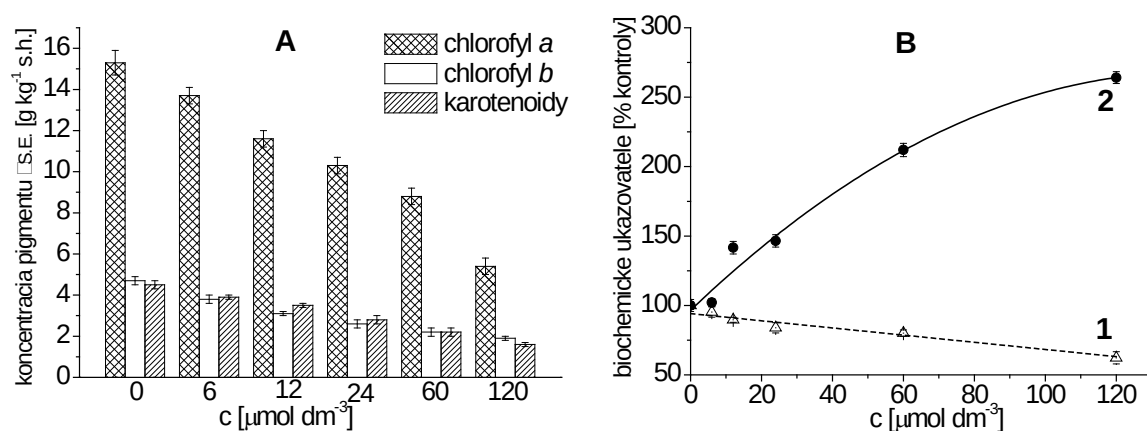
Obr. 1: Závislosť suchej hmotnosti (A) a dĺžky (B) rastlinných orgánov od koncentrácie Ni v kultivačnom roztoku.

Na obr. 2A je znázornená závislosť koncentrácie asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b*, karotenoidy) v listoch rastlín *B. napus*, cv. Viking od aplikovanej koncentrácie Ni. Významný pokles koncentrácie asimilačných pigmentov sa pozoroval už pri aplikácii najnižšej študovanej koncentrácie niklu ( $6 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) a s ďalším zvyšovaním koncentrácie tohto kovu v hydroponickom roztoku koncentrácia asimilačných pigmentov v listoch rastlín postupne klesala. V rozsahu koncentrácií 6-60  $\mu\text{mol dm}^{-3}$  reagoval na nikel najcitlivejšie chlorofyl *b*, menej citlivý bol chlorofyl *a* a karotenoidy. V porovnaní s kontrolnými rastlinami sa už pri aplikácii  $6 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni pozorovala mierna redukcia koncentrácie asimilačných pigmentov v listoch rastlín, a to chlorofylu *a* o 10,5 %, karotenoidov o 13,3 %, a chlorofylu *b* o 19,1 %. Po aplikácii najvyššej koncentrácie Ni ( $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) boli hodnoty redukcie koncentrácie asimilačných pigmentov v listoch rastlín v porovnaní s kontrolou nasledovné: chlorofyl *a* 64,7 %, karotenoidy 64,4 % a chlorofyl *b* 59,6 %. Pokles obsahu chlorofylu v rastlinách ošetrovaných Ni môže byť spôsobený substitúciou centrálného atómu chlorofylu horčíka niklom /8/. Podobný pokles obsahu asimilačných pigmentov vplyvom Ni pozoroval Baccouch et al. v prípade rastlín *Zea mays* /9/.

V koncentračnom rozsahu Ni 0-120  $\mu\text{mol dm}^{-3}$  sa pozoroval lineárny pokles koncentrácie proteínov (obr. 2B, 1) v listoch rastlín kultivaru Viking so zvyšujúcou sa koncentráciou Ni v externom roztoku z hodnoty 79,9 g kg<sup>-1</sup> (kontrola) na hodnotu 50,3 g kg<sup>-1</sup> ( $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni), čo predstavuje 47%-ný pokles. Pokles obsahu proteínov v rastlinách ošetrovaných Ni súvisí pravdepodobne s poklesom aktivity proteázy. Nikel sa viaže na aktívne miesta (sulfhydrylové a karboxylové skupiny) enzýmu, čím dochádza k jeho deaktivácii /10/.



Koncentrácia látok reagujúcich s kyselinou tiobarbiturovou (TBARS) sa považuje za mieru peroxidácie lipidov. Koncentrácia TBARS (obr. 2B, 2) v listoch rastlín *B. napus* sa rapídne zvyšovala so zvyšujúcou sa koncentráciou Ni v kultivačnom roztoku. Po aplikácii  $6 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni sa koncentrácia týchto látok zvýšila oproti kontrole o 2,1 % ( $1,45 \text{ mmol kg}^{-1}$ ), avšak po aplikácii  $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni toto zvýšenie predstavovalo 164% ( $3,75 \text{ mmol kg}^{-1}$ ) v porovnaní s kontrolou. Koncentrácia TBARS v listoch kontrolných rastlín bola  $1,42 \text{ mmol kg}^{-1}$  s.h. Pri peroxidácii lipidov je produktom rozkladu polynenasýtených mastných kyselín, ktoré sú hlavnou zložkou membránových lipidov, malóndialdehyd (MDA). Tvorba MDA v rastlinách exponovaných toxickým kovom je spoľahlivým indikátorom generovania voľných radikálov v bunkách. Peroxidácia lipidov ovplyvňuje tiež permeabilitu membrán. Oxidácia funkčných skupín vedie k zníženiu hrúbky lipidovej dvojvrstvy a zvýšeniu jej priepustnosti /11, 12/.



Obr. 2: Závislosť koncentrácie asimilačných pigmentov (A) a niektorých biochemických ukazovateľov (1- proteíny; 2- TBARS) (B) v listoch rastlín repky olejky, cv. Viking od koncentrácie Ni v kultivačnom roztoku; S.E. – štandardná chyba, s.h.- suchá hmotnosť.

V študovanom koncentračnom intervale  $0-120 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni sa obsah niklu akumulovaný v koreňoch a listoch zvyšoval lineárne. Akumulácia kovu v koreňoch bola približne 6 až 13-krát vyššia ako vo výhonkoch. Zatiaľ čo pri aplikácii  $6 \mu\text{mol dm}^{-3}$  Ni bol obsah tohto kovu v koreňoch  $272 \text{ mg kg}^{-1}$  a vo výhonkoch  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , pri aplikácii najvyššej študovanej koncentrácie Ni ( $120 \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) boli obsahy kovu v rastlinných orgánoch 2123, resp.  $341 \text{ mg kg}^{-1}$ .

## LITERATÚRA

- /1/ Eapen, S., D'Souza, S.F.: Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. *Biotechnol. Adv.*, 25, 2005: 97 - 114
- /2/ Chen, C., Huang, D., Liu, J.: Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean*, 37, 2009: 304 - 313
- /3/ Grispén, V.M.J., Nelissen, H.J.M., Verkleij, J.A.C.: Phytoextraction with *Brassica napus* L.: a tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils. *Environ. Pollut.*, 144(1), 2006: 77 - 83
- /4/ Repka olejka, ozimná. Viking, 01.11.2012  
<http://www.oas.sk/content/repka.php>
- /5/ Lichtenthaler, H.K.: Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.*, 148, 1987: 350 - 382
- /6/ Peško, M., Kráľová, K., Blaško, J.: Phytotoxic effects of trivalent chromium on rapeseed plants. *Fresen. Environ. Bull.*, 21(3), 2012: 761 - 768

- /7/ Pavlovič, A., Masarovičová, E., Kráľová, K., Kubová, J.: Response of chamomile plants (*Matricaria recutita* L.) to cadmium treatment. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 77, 2006: 763 - 771
- /8/ Krupa, Z., Siedlecka, A., Maksymiec, W., Baszynski, T.: *In vivo* response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. J. Plant Physiol., 142(6), 1993: 664 - 668
- /9/ Baccouch, S., Chaoui, A., El Ferjani, E.: Nickel-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Zea mays* shoots. Plant Physiol. Biochem., 36, 1998: 689 - 694
- /10/ Palma, J.M., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Romero-Puertas, M.C., McCarthy, I., Del Rio, L.A.: Plant protease, protein degradation and oxidative stress role of peroxisomes. Plant Physiol Biochem., 40, 2002: 521 - 530
- /11/ Gajewska, E., Bernat, P., Długoński, J., Skłodowska M.: Effect of nickel on membrane integrity, lipid peroxidation and fatty acid composition in wheat seedlings. J. Agronomy and Crop Science., 198, 2012: 286 - 294
- /12/ Wong-Ekkabut, J., Xu, Z., Triampo, W., Tang, I.M., Tieleman, D.P., Monticelli, L.: Effect of lipid peroxidation and the properties of lipid bilayers: a molecular dynamics study. Biophys. J., 93, 2007: 4225 - 4236

### PodĎakovanie

Túto prácu finančne podporili grant UK/210/2012 a Sanofi Aventis Pharma Slovakia.

## **VPLYV ZINKU NA ŠTRUKTÚRNU VARIABILITU PLETÍV RÔZNYCH KLONOV TOPOĽA (*POPULUS* SPP.)**

### ***INFLUENCE OF ZINC ON THE STRUCTURAL VARIABILITY OF TISSUES OF DIFFERENT CLONES OF POPLAR (*POPULUS* SPP.)***

Miroslava Vaculíková<sup>1</sup>, Marek Vaculík<sup>2</sup>, Alexander Lux<sup>2</sup>, Luca Sebastiani<sup>3</sup>, Miroslava Luxová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Botanický ústav SAV, Oddelenie fyziológie rastlín, Dúbravská cesta 14, 845 23, Bratislava, Slovenská republika; e-mail: vaculikova.miroslava@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyziológie rastlín, Mlynská dolina B-2, 842 15 Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup> BioLabs, Institute of Life Sciences, Scuola Superiore Sant'Anna, Piazza Martiri della Libertà, 33, I-56127, Pisa, Italy

#### ***Summary***

In our experiment we investigated changes in the development of apoplastic barriers – Casparian bands and suberin lamellae in endodermis and exodermis, as well as lignification of xylem elements of poplar roots. We worked with four different poplar's clones and species. Plants were cultivated in hydroponics and they were treated with low (control) and high concentration of zinc (1 mM). Free hand cross sections of roots were stained and visualized with fluorescence dyes for the analysis of Casparian bands and suberin lamellae. For the analysis of the changes in the lignification of xylem vessels caused by Zn, staining with phloroglucinol and hydrochloric acid has been used. We found out that in control, as well as in higher Zn conditions, exists interspecific and clonal variability in the structure of root tissues. Anatomical changes of root tissues are related with uptake and translocation of Zn within root and shoot tissues of poplar plants.

*Key words: apoplastic barriers; poplar; root anatomy; xylem lignification; zinc*

#### ***Súhrn***

V experimente sme sledovali zmeny vo vývine apoplazmatických bariér, ktorými sú Caspariho pásik a suberínová lamela, v endoderme a exoderme koreňov, ako aj lignifikáciu xylémových elementov. Pozorovali sme štyri rôzne klony a druhy topoľa. Rastliny sme kultivovali v hydroponii, v kontrolnom roztoku s nízkou koncentráciou zinku a v roztoku s koncentráciou Zn 1mM. Pričné ručné rezy koreňom sme farbili a vizualizovali pomocou fluorescenčných farbív na analýzu Caspariho pásika a suberínovej lamely a na analýzu zmien v lignifikácii xylémových elementov sme použili fluoroglucinol a kyselinu chlorovodíkovú. Zistili sme, že v kontrole, ako aj v prítomnosti vyššej koncentrácie Zn, existujú medzidruhové a medziklonálne rozdiely v štruktúre pletív koreňov. Anatomické zmeny koreňových pletív pravdepodobne súvisia s príjmom a translokáciou Zn z koreňov do nadzemných častí sledovaných rastlín topoľa.

*Kľúčové slová: anatómia koreňa; apoplazmatické bariéry; lignifikácia xylému; topoľ; zinok*

## **ÚVOD**

Priemyselná činnosť, ťažba nerastných surovín a ďalšie ľudské činnosti neustále spôsobujú rozsiahle znečistenie životného prostredia. Ťažké kovy, toxické prvky, rádionuklidy a rôzne organické znečisťovatele, ktoré sa pri týchto činnostiach dostávajú do prostredia, sú nebezpečné a škodlivé pre životné prostredie a navyše ohrozujú ľudské zdravie. Hľadajú sa rôzne možnosti,

akoby sa toto nebezpečenstvo znížilo. Jedným z vhodných a finančne menej náročných riešení na odstránenie kontaminantov z prostredia je použitie rastlín známe pod pojmom fytooremediácie /1/. Fytooremediácie sú metódy, ktoré využívajú prirodzené vlastnosti rastlín na dekontamináciu, stabilizáciu, degradáciu prípadne volatilizáciu škodlivých látok prítomných vo vode, pôde a sedimentoch. Pre tieto metódy sú ideálne rastliny so schopnosťou hyperakumulácie. Ale keďže hyperakumulátory sú prevažne byliny s nízkou produkciou biomasy, ich rast je obmedzený, hľadajú sa rastliny s vhodnejšími vlastnosťami. Vďaka rýchlemu rastu, vysokej produkcii biomasy a bohatému koreňovému systému sú vhodnejšou alternatívou rýchlorastúce rastliny z čeľade Salicaceae, vrby a topole. Tieto dreviny produkujú biomasu, ktorá sa dá okrem iného dobre využiť v energetickom priemysle ako biopalivo a navyše nie je súčasťou potravinového reťazca /2,3/.

Zinok je esenciálny prvok, v nízkych koncentráciách potrebný pre správny rast a vývin rastlín, avšak vo vysokých koncentráciách sa stáva pre ne toxickým /4/. Predošlé štúdiá ukázali, že niektoré klony druhov z rodu topol sú schopné tolerovať, dokonca vo väčšom množstve prijať z pôdy Zn, a to buď do koreňov, alebo ho dokážu translokovať aj do nadzemných častí /3/. Keďže vo väčšine dostupných prác sa autori venovali štúdiu vplyvu Zn na listy a zmeny v ich anatómii a fyziológii, my sme sa rozhodli svoju pozornosť upriamiť na korene a sledovať závislosti medzi príjmom Zn a zmenami v štruktúre koreňov, ku ktorým dochádza vplyvom vysokých koncentrácií Zn.

## MATERIÁL A METODA

Odrezky topoľov *Populus × euramericana* (Dode) Guinier klon I-214; *P. deltoides* L. klon Lux; *P. alba* L. klon Villafranca a *P. deltoides* L. klon Baldo, ktoré boli predpestované a zakorenené, boli umiestnené do plastových nádob obsahujúcich expandované ílové médium (Agrileca) a rástli v modifikovanom Hoaglandovom roztoku obsahujúcom 1  $\mu\text{M}$  Zn (kontrola) a v modifikovanom Hoaglandovom roztoku obsahujúcom 1 mM Zn (Zn). Zinok bol pridaný vo forme  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Rastliny rástli 21 dní v kontrolovaných kultivačných podmienkach pri teplote 23/18 °C deň/noc, vlhkosti vzduchu 65-70 % a fotoperióde 16 h svetlo/8 h tma. Po troch týždňoch boli z rastlín odobraté adventívne korene a zaфіxované v 100% metanole pre ďalšie spracovanie. Pre zistenie zmien v zakladaní apoplazmatických bariér v endoderme koreňa sa zhotovili série ručných rezov, ktoré sa vizualizovali použitím fluorescenčných farbív. Casparyho pásik (CP) sa vizualizoval pomocou 0,1% Berberín hemisulfátu a 1% anilínovej modrej. Suberínová lamela (SL) sa farbila 0,01% Fluorol yellow 088 /5/. Zmeny vo vývine xylémových elementov sa zaznamenali farbením ručných rezov 2% floroglucinolom a 20% HCl. Pripravené preparáty sa pozorovali pomocou fluorescenčného mikroskopu Zeiss Axioskop 2+ (Zeiss, Germany).

Pre stanovenie koncentrácie Zn v rastlinných pletivách sa korene a listy sušili pri teplote 60°C. Vysušené časti boli pomleté analytickým mlynčekom. Koncentrácia Zn v pletivách koreňov a listov sa stanovila po rozklade vzoriek v koncentrovanej kyseline dusičnej ( $\text{HNO}_3$ ) atómovým absorpčným spektrofotometrom. Z nameraných koncentrácií sa vypočítal translokačný faktor (TF) ako pomer koncentrácie Zn v listoch a koncentrácie Zn v koreňoch ( $\text{mg kg}^{-1}$  sušiny).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Z našich výsledkov vyplýva, že už v kontrolných podmienkach existujú rozdiely vo vývine CP medzi jednotlivými druhmi a klonmi. (Tab. 1). K podobnému zisteniu sme dospeli aj pri pozorovaní SL, keď vzdialenosť začiatku depozície a hranica kompletne vyvinutej SL v endoderme koreňa bola pri porovnaní jednotlivých klonov v kontrolných podmienkach rozdielna (Tab. 1)

Pri koreňoch klonu I-214 ovplyvnených Zn došlo k výraznému posunu vývinu CP, ako aj SL v endoderme bližšie k apexu koreňa v porovnaní s kontrolou. Translokačný faktor sa v prítomnosti Zn znížil takmer o polovicu, a tak pravdepodobne pri tomto klone hrajú

apoplazmické bariéry dôležitú úlohu pri obrane rastliny pred nekontrolovaným vstupom Zn do nadzemných častí /6/. Exodermu sme pri tomto klone nepozorovali.

Pri klone Villafranca, podobne ako pri klone I-214, sme sledovali posun tvorby CP a vývin SL v endo- a v exo-derme vplyvom Zn bližšie k apexu koreňa (Tab. 1). Tento klon sa vyznačoval najlepšimi akumuláčnými schopnosťami Zn v koreňoch, kde bola koncentrácia Zn až 16-krát vyššia v porovnaní s listami. Minimálna translokácia Zn z koreňa do nadzemných častí pravdepodobne súvisí s obrannou funkciou bariér, keďže sa predpokladá, že posun vývinu bariér smerom k apexu koreňa súvisí so snahou rastliny eliminovať príjem nežiaducich polutantov /7,8/.

Vzdialenosť vývinu CP sa pri klone Lux vplyvom Zn nezmenila v porovnaní s kontrolou (Tab. 1). Proces suberinizácie endodermálnych buniek začal bližšie k apexu koreňa v porovnaní s klonmi I-214 a Villafranca, čo pravdepodobne súvisí s relatívne skorším zakladaním CP v koreňoch tohto klonu. Kompletne vyvinutá SL sa vplyvom Zn pri tomto klone vyvíjala ďalej od apexu v porovnaní s kontrolou, dokonca v niektorých prípadoch sme kompletnú SL nezaznamenali. Tento posun vývinu SL ďalej od apexu môže súvisieť so zvýšenou translokáciou Zn do nadzemných častí, keďže aj podľa /9/ sa *P. deltoides* klon Lux vyznačuje zvýšenou akumuláciou niektorých ťažkých kovov v nadzemných častiach. Exoderma bola pri tomto klone prítomná a Zn neovplyvnil jej vývin. Oddialenie vývinu SL vplyvom Zn od apexu koreňa pozorovali /10/ pri klone vrbí rakytovej (*Salix caprea* L.) pochádzajúcom z oblasti znečistenej ťažkými kovmi. Podobne ako /10/ predpokladáme, že posun vo vývine apoplazmických bariér pri niektorých druhoch (klonoch) smerom distálne od apexu koreňa má priamy súvis s akumuláciou a translokáciou kovov z koreňa do nadzemných častí.

Tab. 1: Vývin apoplazmických bariér v koreňoch rôznych druhov topolov (*Populus* spp.) pestovaných v kontrolných podmienkach (1  $\mu$ M Zn) a v podmienkach vyššej koncentrácie Zn (1 mM).

| Druh                                   |          | Casparyho pásik<br>[mm od apexu] | Suberínová lamela (začiatok)<br>[mm od apexu] | Suberínová lamela (kompletná)<br>[mm od apexu] | Exoderma<br>[mm od apexu] |
|----------------------------------------|----------|----------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| <i>P. × euramericana</i><br>klon I-214 | Kontrola | 9,2 ± 2,1                        | 37,9 ± 4,2                                    | 65,0 ± 3,9                                     | —                         |
|                                        | Zn       | 4,0 ± 1,1                        | 10,8 ± 1,2                                    | 26,4 ± 2,6                                     | —                         |
| <i>P. alba</i><br>klon Villafranca     | Kontrola | 9,3 ± 1,4                        | 47,1 ± 6,5                                    | 90,0 ± 5,8                                     | 29 ± 1,3                  |
|                                        | Zn       | 6,7 ± 0,6                        | 30,9 ± 3,1                                    | 73,3 ± 4,6                                     | 19 ± 0,9                  |
| <i>P. deltoides</i><br>klon Lux        | Kontrola | 2,0 ± 0,2                        | 18,8 ± 2,6                                    | 70,0 ± 4,1                                     | 10 ± 0,4                  |
|                                        | Zn       | 2,0 ± 0,3                        | 12,9 ± 1,4                                    | 101,8 ± 5,3                                    | 11 ± 0,7                  |
| <i>P. deltoides</i><br>klon Baldo      | Kontrola | 2,8 ± 0,3                        | 11,8 ± 1,7                                    | 80 ± 3,1                                       | 21 ± 1,2                  |
|                                        | Zn       | 2 ± 0,1                          | 12,8 ± 2,1                                    | 77,5 ± 2,9                                     | 29 ± 1,4                  |

Klon Baldo spomedzi všetkých sledovaných klonov reagoval najmenej na prítomnosť Zn v médiu. Vývin apoplazmických bariér ostal vplyvom Zn takmer nezmenený. Výraznejšia zmena nastala len pri exoderme, ktorá začala suberinizovať vplyvom Zn neskôr v porovnaní s kontrolou (Tab. 1). Translokačný faktor pri tomto klone bol vplyvom Zn v porovnaní s kontrolou nezmenený, čo koreluje s nezaznamenanými rozdielmi vo vývine apoplazmických bariér.

V našom experimente sme sledovali ďalej aj vplyv Zn na lignifikáciu xylémových elementov, ktorých vývin závisí okrem iného aj od environmentálnych podmienok a je druhovo špecifický. Pri klone I-214 sme pozorovali lignifikáciu protoxylémových a metaxylémových

elementov výrazne bližšie pri apexe koreňa pri rastlinách rastúcich v Zn variante oproti kontrole. Podobne, aj v prípade vývinu sekundárneho xylému došlo k skoršej lignifikácii pri zvýšenej koncentrácii Zn v médiu v porovnaní s kontrolou /6/. Pri klonoch Villafranca a Lux sme tiež pozorovali skoršiu lignifikáciu xylémových elementov po vplyve Zn, ale nie až takú výraznú ako v prípade klonu I-214. Podobný efekt, spôsobený vplyvom Cd, zaznamenali /11/ pri borovici lesnej (*Pinus sylvestris* L.), ako aj /12/ pri koreňoch jačmeňa (*Hordeum* sp.). Predpokladáme, že zvýšený obsah lignínu môže byť ochranným mechanizmom a urýchlená xylogenéza je vyvolaná zvýšeným množstvom Zn v rizosfére. Výnimku tvorí klon Baldo, pri ktorom sme nepozorovali vplyvom Zn skoršiu lignifikáciu protoxylémových a metaxylémových elementov a dokonca v prípade lignifikácie sekundárneho xylému sme zaznamenali neskoršiu lignifikáciu v porovnaní s kontrolou.

## LITERATURA

- /1/ Chaney, R.L., Angle, J.S., Broadhurst, C.L., Pezers, C.A., Tappero, R.V., Sparks, D.L.: Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. *J. Environ. Quality* 36, 2007: 1429–1443.
- /2/ Pradhan, S.P., Conrad, J.R., Paterek, J.R., Srivastava, V.J.: Potential of phytoremediation for treatment of PAHs in soil at MGP sites. *J. Soil Contam.* 7, 1998: 467–480.
- /3/ Sebastiani, L., Scebba, F., Tognetti, R.: Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) and I-214 (*P. euramericana*) exposed to industrial waste. *Environ. Exp. Bot.* 52, 2004: 79–88.
- /4/ Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A.: Zinc in plants. *New Phytol.* 173, 2007: 677–702.
- /5/ Lux, A., Morita, S., Abe, J., Ito, K.: Improved method for clearing and staining free-hand sections and whole-mount samples. *Ann. Bot.* 96, 2005: 989–996.
- /6/ Stoláriková, M., Vaculík, M., Lux, A., Di Baccio, D., Minocci, A., Andreucci, A., Sebastiani, L.: Anatomical differences of poplar (*Populus* × *euramericana* clone I-214) roots exposed to zinc excess. *Biologia* 67, 2012: 483–489.
- /7/ Martinka, M., Lux, A.: Response of roots of three populations of *Silene dioica* to cadmium treatment. *Biologia* 59, 2004: 185–189.
- /8/ Zelko, I., Lux, A.: Effect of cadmium on *Karwinskia humboldtiana* roots. *Biologia* 59, 2004: 205–209.
- /9/ Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, G. S., Iori, V., Pietrosanti, L., Massacci, A.: Cadmium accumulation and tolerance in *Populus nigra* and *Salix alba*. *Water Air Soil Pollut.* 197, 2009: 23–34.
- /10/ Vaculík, M., Konlechner, C., Langer, I., Adlassnig, W., Puschenreiter, M., Lux, A., Hauser, M-T.: Root anatomy and element distribution vary between two *Salix caprea* isolates with different Cd accumulation capacities. *Environ. Pollut.* 163, 2012: 117–126.
- /11/ Schützendübel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld-Hayser, R., Godbold, D.L., Polle, A.: Cadmium-induced changes in antioxidative systems, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content and differentiation in pine (*Pinus sylvestris*) roots. *Plant Physiology* 127, 2001: 887–898.
- /12/ Ďurčeková, K., Huttová, J., Mistrík, I., Ollé, M., Tamás, L.: Cadmium induces premature xylogenesis in barley roots. *Plant Soil* 290, 2007: 61–68

## Poděkování

Práca bola podporená grantmi vedeckej grantovej agentúry VEGA č. VEGA1/0472/10 a VEGA 1/0817/12, bola súčasťou riešenia projektov podporených Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja, č. grantov APVV-0140-10, APVV SK-FR 0020-11. Práca bola tiež súčasťou riešenia slovensko-talianskeho bilaterálneho projektu podporeného talianskou grantovou agentúrou MAE.

## **METABOLISMUS VOLNÝCH AMINOKYSELIN V ROSTLINÁCH RODU *THLASPI* NA PŮDĚ KONTAMINOVANÉ KADMIEM**

### ***METABOLISM OF FREE AMINO ACIDS IN THLASPI SP. GROWING ON SOIL CONTAMINATED BY CADMIUM***

Veronika Zemanová, Daniela Pavlíková, Jana Najmanová, Jiřina Száková  
Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroenvironmentální chemie a výživy  
rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, zemanovav@af.czu.cz

#### **Summary**

Metabolism of free amino acids was observed on two populations of *Thlaspi caerulescens* (J. & C. PRESL) from France and Slovenia and one population of *Thlaspi goensingense* (Hálácszy) from Austria. Plants were exposed to increasing Cd doses: 0, 30, 60, 90 mg.kg<sup>-1</sup>. The significant contrast in behavior was observed between populations of Slovenia and France. The same trend, increase of free amino acids content in the above-ground biomass of populations was observed. Differences in populations were observed in content of free amino acids in roots. Trend was here ambiguous. Accumulation of nitrates was determined in plants of Slovenia, opposite phenomenon - decrease of nitrates was in plants of France. Accumulation of Cd was the highest in the plants from Slovenia in contrast to the most Cd-tolerant population from France.

*Key words: risk elements, ecotypes, free proline, hyperaccumulation, nitrates*

#### **Souhrn**

Metabolismus volných aminokyselin byl pozorován u dvou populací *Thlaspi caerulescens* (J. & C. Presl.) z lokality Francie a Slovinska a jedné populace *Thlaspi goensingense* (Hálácszy) z Rakouska. V experimentu byla aplikována zvyšující se dávka Cd: 0, 30, 60 a 90 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvýraznější kontrastní chování bylo pozorováno mezi populacemi ze Slovinska a Francie. V nadzemní biomase populací byl pozorován trend zvýšení obsahu volných aminokyselin se stupňující se dávkou Cd. Rozdíl v populacích se projevil v obsahu volných aminokyselin v kořenech, kde byl trend nejednotný. Akumulace dusičnanů byla stanovena v rostlinách ze Slovinska, opačný jev - snížení obsahu dusičnanů byl u rostlin z Francie. Nejvyšší akumulace Cd byla stanovena u populace ze Slovinska, nevyraznější tolerance Cd byla u populace z Francie.

*Klíčová slova: rizikové prvky, ekotypy, volný prolin, hyperakumulace, nitráty*

## **ÚVOD**

Rod *Thlaspi* z čeledi *Brassicaceae*, zahrnuje řadu rostlinných druhů, které byly zařazeny mezi specifickou skupinu rostlin, tzv. hyperakumulátory. Tyto druhy jsou schopné akumulovat v biomase více než 100 mg.kg<sup>-1</sup> Cd bez toxických projevů /12,14/. Příjem Cd u *Thlaspi* je zprostředkován vysokoafinitními přenašeči v buňkách kořenů /4, 10/. Cd je v rostlinách přednostně ukládáno do vakuol epidermálních buněk, dále mohou jeho významné koncentrace obsahovat i buňky mezofylu /12/ a buněčné stěny kořenů /3/.

Cd snadno reaguje s řadou biologicky aktivních molekul, způsobuje zvýšenou tvorbu reaktivních forem kyslíku /8/ a specifických metabolitů /2/. Řada autorů /2, 5, 9, 11/ věnovala

pozornost zejména prolinu (PRO), jehož obsah se zvyšuje při působení řady stresových faktorů.

V experimentu byl hodnocen metabolismus volných aminokyselin v biomase rostlin *Thlaspi* pěstovaných v půdě se stupňující se dávkou Cd. Zvláště byl sledován obsah volného prolinu a souvislost jeho obsahu s dávkou Cd. Pozornost byla dále věnována možné rozdílné akumulaci Cd v jednotlivých ekotypech.

## MATERIÁL A METODA

Pro sledování akumulace Cd a metabolismu volných aminokyselin (AMK) u rostlin *Thlaspi* byly vybrány druhy: *Thlaspi caerulescens* (J. & C. Presl) a *Thlaspi goensingense* (Hálácszy). Byl založen vegetační nádobový pokus dle metodiky Zemanová et al. /15/. U *T. caerulescens* byly použity populace z Francie a ze Slovinska, u *T. goensingense* populace z Rakouska. V biomase byl stanoven obsah volných AMK metodou GC-MS (Agilent Technologies) /7, 15/, celkový obsah Cd metodou ICP-OES (Varian VistaPro, Austrálie) /6/ a obsah nitrátů na přístroji SKALAR (San<sup>+</sup>System, Holandsko) /8/.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky experimentu potvrdily rozdílnou Cd akumulaci a toleranci rostlin *Thlaspi*. Hyperakumulace Cd byla potvrzena u všech populací (tab. 1). Nejvyšší akumulace Cd byla zjištěna u rostlin ze Slovinska. Rostliny z Francie a Rakouska měly srovnatelný obsah Cd a jeho obsah byl přibližně 10krát nižší než u rostlin ze Slovinska. Schopnost Cd tolerance byla však u těchto rostlin vyšší než u rostlin ze Slovinska. Obdobné chování bylo prokázáno u populace z Francie vůči populaci z Belgie /4/. Dle některých autorů jsou hyperakumulující druhy charakterizovány vysokou schopností translokace Cd z kořenů do nadzemních částí /4, 14/. Tento jev potvrzují pouze výsledky u rostlin ze Slovinska, v ostatních rostlinách byl obsah Cd v nadzemní biomase a kořenech srovnatelný.

V metabolismu volných AMK nebyl prokázán výrazný rozdíl u jednotlivých populací. Celkový obsah volných AMK se zvyšoval v nadzemní biomase všech rostlin se stupňující se dávkou Cd. V kořenech rostlin z Francie a Rakouska došlo ke zvýšení celkového obsahu volných AMK, opačný trend - snížení tohoto obsahu byl prokázán u rostlin ze Slovinska. Největší rozdíl v obsahu volných AMK v jednotlivých částech rostliny byl prokázán u rostlin z Rakouska, u kterých byl obsah až 100krát vyšší v nadzemní biomase než v kořenech. Stanovení obsahu nitrátů, hlavního zdroje dusíku pro rostliny a prekursoru pro tvorbu aminokyselin /8/ prokázalo pokles jejich obsahu v rostlinách z Francie a nárůst u rostlin ze Slovinska se zvyšující se dávkou Cd (data populace z Rakouska nejsou k dispozici).

Pro posouzení vlivu Cd na stres rostlin byla vybrána specifická aminokyselina – volný prolin. Jeho průměrný obsah z celkového obsahu volných AMK byl nejvyšší u rostlin ze Slovinska ( $\approx 53\%$ ), přibližně poloviční hodnoty dosahoval u ostatních rostlin (Francie  $\approx 20\%$ ; Rakousko  $\approx 21\%$ ). Z grafu 1 je patrný výrazný vliv nejvyšší dávky Cd ( $90 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) na obsah volného PRO v nadzemní biomase populací. U rostlin z Francie a Rakouska byl stanoven vyšší obsah volného PRO oproti kontrolní variantě. V souvislosti s vlivem Cd a Cu uvádějí zvýšený obsah volného PRO v biomase i další autoři /1, 13/. Opačný trend snížení obsahu volného PRO se projevil u rostlin ze Slovinska, s výjimkou I. odběru, kde došlo k nárůstu oproti kontrolní variantě. Tento trend pravděpodobně souvisí s vyšší translokací Cd do nadzemních částí rostlin. Stejný efekt Cd jako v nadzemní biomase byl prokázán v kořenech všech rostlin (graf 2). Vyšší akumulace PRO vlivem Cd je způsobena snížením jeho degradace, zvýšením biosyntézy a snížením syntézy proteinů nebo jejich využití /13/. V našem případě je tento efekt pravděpodobně způsoben snížením syntézy a využitím proteinů u rostlin ze Slovinska a Rakouska, u kterých dochází k absenci obsahu kyseliny

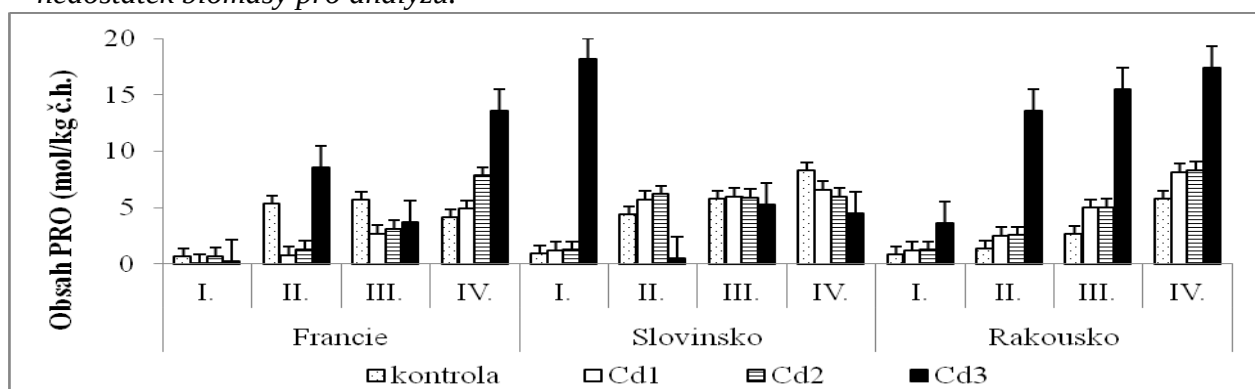


glutamové a jejího využití pro tvorbu fytochelatinů /8/. Opačný jev - zvýšený obsah kyseliny glutamové byl stanoven u rostlin z Francie. U těchto rostlin je zvýšený obsah volného PRO způsoben pravděpodobně jeho vyšší biosyntézou, jejímž hlavním prekurzorem je kyselina glutamová /11/.

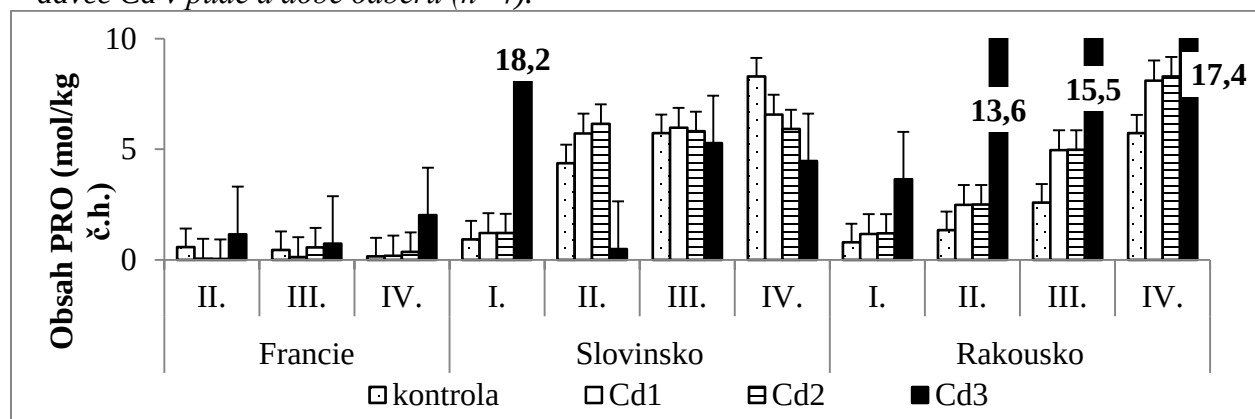
Tab. 1: Akumulace Cd v nadzemní biomase a kořenech rostlin *Thlaspi*.

| odběr | varianta | populace              |                       |                         |                         |                        |                       |
|-------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
|       |          | Francie               |                       | Slovinsko               |                         | Rakousko               |                       |
|       |          | nadzemní biomasa      | kořeny                | nadzemní biomasa        | kořeny                  | nadzemní biomasa       | kořeny                |
|       |          | Cd                    | Cd                    | Cd                      | Cd                      | Cd                     | Cd                    |
| I.    | K        | 17 ± 0,3 <sup>a</sup> | 13 ± 0,5 <sup>a</sup> | 14 ± 0,8 <sup>a</sup>   | -                       | 10 ± 4 <sup>a</sup>    | -                     |
|       | Cd3      | 137 ± 6 <sup>b</sup>  | 80 ± 2 <sup>b</sup>   | 491 ± 23 <sup>b</sup>   | -                       | 69 ± 5 <sup>b</sup>    | -                     |
| II.   | K        | 12 ± 0,1 <sup>a</sup> | 29 ± 0,8 <sup>a</sup> | 18 ± 0,2 <sup>a</sup>   | -                       | 31 ± 3 <sup>a</sup>    | -                     |
|       | Cd3      | 287 ± 9 <sup>b</sup>  | 372 ± 14 <sup>b</sup> | 2516 ± 169 <sup>b</sup> | -                       | 107 ± 0,8 <sup>b</sup> | -                     |
| III.  | K        | 13 ± 0,3 <sup>a</sup> | 32 ± 0,9 <sup>a</sup> | 12 ± 0,5 <sup>a</sup>   | 55 ± 2 <sup>a</sup>     | 39 ± 6 <sup>a</sup>    | 49 ± 1 <sup>a</sup>   |
|       | Cd3      | 385 ± 9 <sup>b</sup>  | 415 ± 47 <sup>b</sup> | 2614 ± 94 <sup>b</sup>  | 2108 ± 59 <sup>b</sup>  | 182 ± 4 <sup>b</sup>   | 412 ± 37 <sup>b</sup> |
| IV.   | K        | 14 ± 0,2 <sup>a</sup> | 50 ± 0,6 <sup>a</sup> | 29 ± 0,5 <sup>a</sup>   | 50 ± 1 <sup>a</sup>     | 33 ± 2 <sup>a</sup>    | 18 ± 3 <sup>a</sup>   |
|       | Cd3      | 493 ± 21 <sup>b</sup> | 659 ± 23 <sup>b</sup> | 2524 ± 161 <sup>b</sup> | 1147 ± 101 <sup>b</sup> | 128 ± 9 <sup>b</sup>   | 247 ± 11 <sup>b</sup> |

Data udávají hodnoty obsahu ( $n=2$ ) ± směrodatná odchylka. Obsah Cd je uveden v  $\text{mg.kg}^{-1}$  sušiny. Písmena za hodnotami obsahu udávají rozdíly na hladině významnosti  $\alpha < 0.05$ ; „-“, nedostatek biomasy pro analýzu.



Graf 1: Obsah volného prolinu (PRO) v nadzemní biomase rostlin *Thlaspi* v závislosti na dávce Cd v půdě a době odběru ( $n=4$ ).



Graf 2: Obsah volného prolinu (PRO) v kořenech rostlin *Thlaspi* v závislosti na dávce Cd v půdě a době odběru ( $n=4$ ) (I. odběr Francie - nedostatek materiálu pro analýzu obsahu volných AMK).

## LITERATURA

- /1/ Alia, Saradhi, P.P.: Proline accumulation under heavy metal stress. *J. Plant Physiol.* 138, 1991 : 504–508
- /2/ Costa, G., Spitz, E.: Influence of cadmium on soluble carbohydrates, free amino acids, protein content of in vitro cultured *Lupinus albus*. *Plant Science*, 128, 1997: 131-140.
- /3/ Hu, P.J., Qiu, R.L., Senthilkumar, P., Jiang, D., Chen, Z.W., Tang, Y.T., Liu, F.J.: Tolerance, accumulation and distribution of zinc and cadmium in hyperaccumulator *Potentilla griffithii*. *Environmental and Experimental Botany*, 66, 2009: 317-325.
- /4/ Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J., McGrath, S. P.: Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. *New Phytologist*, 145, 2000: 11-20.
- /5/ Matysik, J., Alia, Bhalu, B., Mohanty, P.: Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 82, 2002: 525–532.
- /6/ Miholová, D., Mader, P., Száková, J., Slámová, A., Svato, Z.: Czechoslovak biological certified reference materials and their use in the analytical quality assurance system in a trace element laboratory. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 51, 1993: 256-260.
- /7/ Neuberg, M., Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J.: The effect of different nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. *Plant, Soil and Environment*, 56, 2010: 305-311.
- /8/ Pavlík, M., Pavlíková, D., Zemanová, V., Hnilička, F., Urbanová, V., Száková, J.: Trace elements present in airborne particulate matter- stressors of plant metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 79, 2012: 101-107.
- /9/ Szabados, L., Savouré, A.: Proline: a multifunctional amino acid. *Trend in Plant Science*, 15 (2), 2010: 89-97.
- /10/ Valterová, B., Száková, J., Koplík, R., Havlík J., Tlustoš, P., Mestek, O.: Frakcionace a sociace As, Cd a Zn v nadzemní biomase penízku modravého (*Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl). *Chemické listy* 106, 2012: 392-397.
- /11/ Verbruggen, N., Hermans, Ch.: Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35, 2008: 753-759.
- /12/ Vogel-Mikuš, K., Regvar, M., Mesjasz-Przybyłowicz, J., Przybyłowicz, W. J., Simčič, J., Pelicon, P., Budnar, M.: Spatial distribution of cadmium in leaves of metal hyperaccumulating *Thlaspi praecox* using micro-PIXE. *New Phytologist*, 179, 2008: 712-721.
- /13/ Zengin, F. K., Munzuroglu, O.: Effect of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 47 (2), 2005: 157-164.
- /14/ Zhao, F. J., Hamon, R. E., Lombi, E., McLaughlin, M. J., McGrath, S. P.: Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2002: 535-543.
- /15/ Zemanová, V., Najmanová, J., Urbanová, V., Truncová, J., Pavlíková, D.: Accumulation of free amino acids in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* as response to stress cadmium exposure. *Proceedings of International Conference Soil, Plant and Food Interactions*, 2010: 518 – 522.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru S grantu MSMT ČR a grantu CIGA , projekt č. 20122014.

## ÚČINKY RÔZNYCH DÁVOK VODY NA PŠENICU

### *THE EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF WATER ON WHEAT*

Terézia Gáľusová<sup>1</sup>, Zuzana Gregorová<sup>1</sup>, Roman Kuna<sup>1</sup>, Ildikó Matusíková<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, FPV, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie mládeže 91, 949 74 Nitra, Slovenská republika, terezia.galusova@ukf.sk

<sup>2</sup>Slovenská akadémia vied, Ústav genetiky a biotechnológií rastlín, Akademická 2, P.O.BOX 39/A, 950 07 Nitra, Slovenská republika, ildiko.matusikova@savba.sk

#### *Summary*

Water is the integrating element in the system soil - plant - atmosphere. The goal of our study was to determine the sensitivity of selected wheat variety on the excess and deficiency of water by determining the growth of root and shoot and content of photosynthetic pigments in two developmental stages of leaves. After 8 days of plant growth we observed an increase in the root biomass under the conditions of both excess and deficiency of water. Excess of water caused a reduction of shoot fresh weight, on contrary water deficiency resulted in increase of shoot fresh weight. Similarly, the content of photosynthetic pigments in two developmental stages of leaves was significantly negatively affected by excess as well as deficiency of water.

*Key words: water stress, growth parameters, photosynthetic pigments, wheat*

#### *Súhrn*

Voda je integrujúcim prvkom systému pôda - rastlina - atmosféra. Cieľom našich experimentov bolo stanoviť citlivosť vybranej odrody pšenice letnej na nadbytok a nedostatok vody na základe stanovenia parametrov rastu koreňa a výhonku a obsahu fotosyntetických pigmentov v dvoch vývinových štádiách listov. Po 8 dňoch rastu rastlín sme zaznamenali zvýšenie biomasy koreňa pri nadbytku i nedostatku vody. Nadbytok vody vyvolal zníženie hmotnosti čerstvej biomasy výhonku a naopak nedostatok vody zvýšenie. Obsah fotosyntetických pigmentov v dvoch sledovaných vývinových štádiách listov bol významne negatívne ovplyvnený v prípade nadbytku ako aj nedostatku vody.

*Kľúčové slová: vodný stres, rastové parametre, fotosyntetické pigmenty, pšenica*

## ÚVOD

Pôda a jej fyzikálne vlastnosti spolu s klimatickými podmienkami sú určujúcimi činiteľmi pre vodný režim pôdy. Vodný stres je jedným z najbežnejších javov v prirodzených podmienkach pestovania a jedným z najfrekvencovanejších ekologických limitov vo vzťahu k produkcii rastlín /1/. Obilniny tvoria najdôležitejšiu skupinu plodín v rastlinnej výrobe. Majú rozhodujúci význam vo výžive obyvateľstva a hospodárskych zvierat, poskytujú dôležitú surovinu pre potravinársky, chemický a farmaceutický priemysel. V produkcii obilnín sa na prvé miesto vo svete zaraďuje pšenica (*Triticum aestivum* L.) /2/.

Zavodenie/nadbytok vody v pôdnom substráte vyvoláva obmedzenie rastu. Predstavuje komplexný stres, ktorého hlavnou charakteristikou je nedostatok O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>, vďaka čomu dochádza k zamedzeniu dýchania koreňov a obmedzeniu fotosyntézy. Nadbytok vody prekáža

v reprodukčnom cykle rastlín a zabraňuje zakvitnutiu /3/. Na druhej strane, nedostatok vody vedie k inhibícii rastu, akumulácii kyseliny abscisovej (ABA), prolínu, manitolu a sorbitolu, k tvorbe komponentov zachytávajúcich voľné radikály, k zatvoreniu prieduchov a k redukcii transpirácie, zmene vodného potenciálu pletív, fotosyntetickej aktivity, ako aj k syntéze nových proteínov /4/. Na dlhotrvajúci vodný stres rastliny reagujú rôznymi aklimačnými a adaptačnými mechanizmami, predovšetkým obmedzením rastu a veľkosti listovej plochy, zmenami aktivity enzýmov, spomalením delenia buniek, akumuláciou ABA v listoch, ktorá vyvoláva zatváranie prieduchov /5/. Cieľom našich experimentov bolo zhodnotiť vplyv rôznych dávok vody na rast a obsah fotosyntetických pigmentov v rôznych častiach rastlín pšenice letnej (*Triticum aestivum* L. cv. Genoveva).

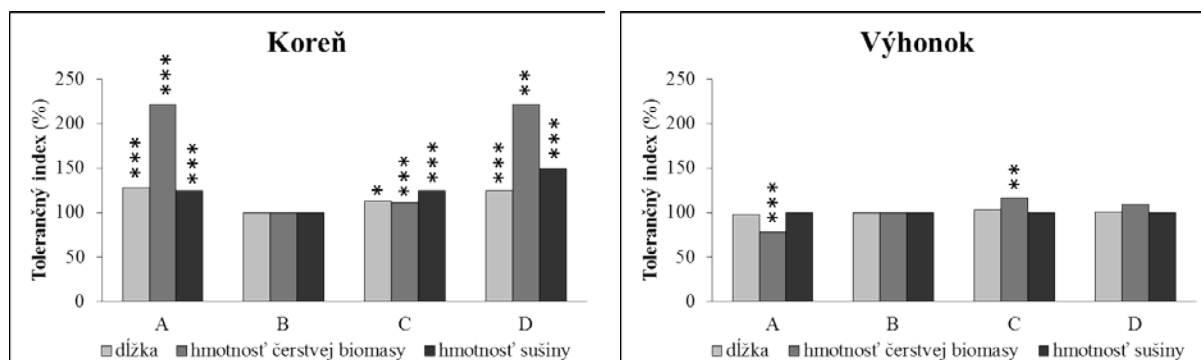
## MATERIÁL A METÓDY

Vysterilizované semená pšenice letnej (*Triticum aestivum* L. cv. Genoveva) sme zasadili do výsevného substrátu Klasmann-Deilmann (pH 5,5-6,5) a zaliali sme ich destilovanou vodou, ktorej množstvo zodpovedalo maximálnej sorpčnej kapacite pôdy (~700 ml). Na rastliny v štádiu prvých asimilačných listov (11. deň nádobového pokusu) sme aplikovali rôzne dávky vody: variant A – 150 % zálievky (300 ml.kg<sup>-1</sup>), variant B (kontrola) – 100 % zálievky (200 ml.kg<sup>-1</sup>), variant C – 50 % zálievky (100 ml.kg<sup>-1</sup>) a variant D – 25 % zálievky (50 ml.kg<sup>-1</sup>). Uvedené dávky vody sme na jednotlivé varianty aplikovali každý deň počas nasledujúcich 8 dní. Nádobové pokusy sme uskutočnili v rastovej komore s kontrolovanou klímou pri teplote 23 °C počas celého dňa, svetelnej perióde 16 hodín svetlo/8 hodín tma. Po 8 dňoch rastu sme stanovili parametre rastu koreňov a výhonkov (dĺžka, hmotnosť čerstvej biomasy, hmotnosť sušiny). Citlivosť/toleranciu rastlín na vodný stres sme definovali tolerančným indexom meraných kvantitatívnych znakov rastu v neskorších fázach individuálneho vývinu rastlín podľa /6/. Spektrofotometricky sme stanovili obsah fotosyntetických pigmentov /7/ v 2 vývinových štádiách listov. Ontogenetické štádium listov rastlín sme stanovili v rastovej fáze BBCH 13 nasledovne: prvý asimilačný list sme označili ako spodný list, druhý asimilačný list ako vrchný list. Uvedeným analýzám sme podrobili minimálne 10 rastlín v troch opakovaniach každého variantu experimentu. Údaje boli štatisticky spracované a vyhodnotené Studentovým t-testom v programe Microsoft Excel.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Nadbytok ako aj nedostatok vody v pôdnom substráte vyvoláva zmeny rastu a produkcie podzemnej i nadzemnej biomasy rastlín. Nadmerné množstvo vody (variant A) vyvolalo v našich pokusoch predĺženie (o 28,58 %) zvýšenie hmotnosti čerstvej biomasy (o 122,22 %), zvýšenie hmotnosti sušiny (o 25 %) koreňov a zníženie hmotnosti čerstvej biomasy (o 21,15 %) výhonkov v porovnaní s kontrolnými rastlinami (Obr. 1). Výrazné zníženie zálievky (varianty C a D) v našich pokusoch vyvolalo skrúcanie a vädnutie listov testovaných rastlín. Pri veľkom nedostatku vody (variant D) sme zaznamenali aj usychanie špičiek a okrajov asimilačných listov. Deficitom vody teda dochádza k ťažkému poškodeniu pletív a nevratným zmenám reakčných centier fotosystému II /8/, čo má za následok chlorózy a nekrózy listov /9/. Pokles zálievky o 50 % (variant C) malo za následok predĺženie (o 13,39 %), nárast hmotnosti čerstvej biomasy (o 11,11%), nárast hmotnosti sušiny (o 25 %) koreňov a zvýšenie hmotnosti čerstvej biomasy (o 25 %) výhonkov rastlín pšenice. Nedostatok vody v pôdnom substráte (variant D) vyvolalo predĺženie koreňov (o 24,55 %), zvýšenie hmotnosti

ich čerstvej biomasy (o 122,22 %) a zvýšenie hmotnosti sušiny (o 50 %). Rast koreňov pre dosiahnutie vlhkosti v nižších pôdnych vrstvách predstavuje obranný mechanizmus rastlín proti suchu. Podľa /10/ predĺžovací rast koreňa je nízkym vodným potenciálom vody limitovaný len mierne, a v tzv. distálnej elongačnej zóne pokračuje bez zmeny. Udržanie intenzity rastu pritom súvisí skôr so zmenou fyzikálno-chemických vlastností bunkových stien ako so stabilizáciou turgoru. Krátkodobá stimulácia rastu hlavného koreňa môže byť vyvolaná aj akumuláciou kyseliny abscisovej /11/.



Obr. 1: Tolerančné indexy (%) parametrov rastu koreňa a výhonku pšenice letnej (*Triticum aestivum* L. cv. Genoveva) pri rôznych dávkach vody. Hladiny významnosti rozdielov: \* $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\* $P < 0,001$ . Vysvetlivky: A - 150 % zálievky, B - 100 % zálievky (kontrola), C - 50 % zálievky, D - 25 % zálievky.

Prvotným signálom deficitu vody v rastlinných pletivách je uzavretie prieduchov, aby sa zabránilo stratám vody. To má za následok zníženie intenzity fotosyntézy, transpirácie a stomatálnej vodivosti /12/. Pri nadbytku vody v pôdnom substráte (variant A) vybranej odrody pšenice sme zaznamenali zníženie obsahu chlorofylu *a* (o 25,68 %), chlorofylu *b* (o 26,80 %), karotenoidov (o 30 %) v spodnom liste, ako aj zníženie obsahu chlorofylu *a* (o 26,78 %) a chlorofylu *b* (o 28,66 %) vo vrchnom liste (Tab. 1). Zníženie zálievky na 50 %

Tab. 1: Vplyv rôznych dávok vody na obsah fotosyntetických pigmentov v listoch pšenice letnej (*Triticum aestivum* L. cv. Genoveva)

| Variant/parameter                          | A             | B         | C          | D             |
|--------------------------------------------|---------------|-----------|------------|---------------|
| <b>spodný list</b>                         |               |           |            |               |
| chlorofyl <i>a</i>                         | 3,79±0,04***  | 5,10±0,24 | 4,93±0,78  | 5,77±0,94     |
| chlorofyl <i>b</i>                         | 1,12±0,07***  | 1,53±0,07 | 1,48±0,21  | 1,73±0,31     |
| karotenoidy                                | 0,28±0,003*** | 0,40±0,02 | 0,33±0,09  | 0,31±0,03*    |
| celkový obsah chlorofylov                  | 2,46±0,05***  | 3,31±0,15 | 3,20±0,50  | 3,75±0,62     |
| chlorofyl <i>a</i> + <i>b</i> /karotenoidy | 8,77±1,16     | 8,39±0,23 | 9,90±1,98  | 12,23±0,94*** |
| <b>vrchný list</b>                         |               |           |            |               |
| chlorofyl <i>a</i>                         | 4,21±0,50**   | 5,75±0,25 | 5,82±0,70  | 6,51±0,71     |
| chlorofyl <i>b</i>                         | 1,17±0,15**   | 1,64±0,06 | 1,69±0,20  | 1,87±0,21     |
| karotenoidy                                | 0,32±0,04     | 0,39±0,05 | 0,30±0,13  | 0,24±0,04*    |
| celkový obsah chlorofylov                  | 2,69±0,33**   | 3,69±0,15 | 3,76±0,45  | 4,19±0,46     |
| chlorofyl <i>a</i> + <i>b</i> /karotenoidy | 8,34±0,16     | 9,45±0,76 | 14,31±6,90 | 17,46±2,17**  |

Hodnoty zodpovedajú aritmetickému priemeru ± smerodajná odchýlka ( $n=10$ ). Hladiny významnosti rozdielov: \* $P < 0,05$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \*\*\* $P < 0,001$ . Vysvetlivky: A - 150 % zálievky, B - 100 % zálievky (kontrola), C - 50 % zálievky, D - 25 % zálievky.

(variant C) nemalo významný efekt na obsah fotosyntetických pigmentov v sledovaných vývinových štádiách listov. Ďalšie zníženie množstva zálievky (variant D) však zapríčinilo zníženie obsahu karotenoidov v spodných listoch (o 22,5%) a vrchných listoch (o 38,46%) stresovaných rastlín. Pokles rýchlosti fotosyntézy a transpirácie v závislosti na vodnom deficite bol preukázaný napr. aj v rastlinách kukurice /13, 14/ a pšenice /15, 16, 17/.

Zo získaných výsledkov našich experimentov vyplýva, že tak nadbytok ako aj nedostatok aplikovanej dávky vody mal preukazný efekt na rast a fotosyntézu v listoch pšenice, predovšetkým u skorších vývinových štádií. Testované rastliny budú podrobené hlbším analýzám na biochemickej a molekulárnej úrovni s cieľom identifikovať rozdiely v prebiehajúcich obranných mechanizmoch pri kontrastných typoch vodného stresu.

## LITERATÚRA

- /1/ Masarovičová E., Kráľová, K., Májeková, M., Vykouková, I.: Vodný režim rastlín v meniacich sa environmentálnych podmienkach. In: Bláha, L., Hnilička, F. (eds.) Aktuální kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výskumu 2011. VÚRV Praha, ČZU Praha, 2011: 81-91.
- /2/ Pospíšil, R., Pačuta, V., Černý, I., Molnárová, J.: Integrovaná rastlinná výroba. SPU Nitra, 2008: 181 pp.
- /3/ Jackson, M. B., Colmer, T. D.: Response and adaptation by plants to flooding. *Annals of Botany*, 96, 2005: 501-505.
- /4/ Olšovská, K. - Brestič, M.: Funkcia chemickej a hydraulickej signalizácie o vodnom strese pri hodnotení suchovzdornosti juvenilných rastlín. SPU Nitra, 2005: 164 pp.
- /5/ Lisar, Y. S., Motafakkezarad, R., Hossain, M. M., Rahman, M. M.: Water stress in plants: causes, effects, and responses, In: Rahman, I. M. M., Hasegawa, H. (eds.): Water stress. InTech Croatia, 2012, 2-14.
- /6/ Wilkins, D. A.: The measurment of tolerance to edaphic factors by means of root length. *New Phytologist*, 80, 1978: 623-633.
- /7/ Lichtenthaler, H. K., Wellburn, A. R.: determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 1983: 591-592.
- /8/ Angelopolous, K., Dichio, B., Xiloyannis, C.: Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of Experimental Botany*, 47, 1996, 1093-1100.
- /9/ Scott, H. D., De Angulo, J., Daniels, M. B., Wood, L. S.: Flood duration effects on soybean growth and yield. *Agronomical Journal*, 81, 1990, 631-636.
- /10/ Wu, Y., Cosgrove, D.J.: Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*, 51, 2000: 1543-1553.
- /11/ Davies, W. J., Bacon, M. A.: Adaptation of root to drought. In: De Kroon H., Visser E. J. W. (eds.) *Root Ecology (Ecological Studies)* Springer, 2003: 173-192.
- /12/ Munns, R.: comparative physiology od salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, 25, 2002: 239-250.
- /13/ Bodi, Z., Pepo, P.: Trends of pollen production and tassel area index in yellow lines- hybrids and blue corn landraces. *Cereal Research Communication*, 35, 2007: 277-280.
- /14/ Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O.: The effect of soil drought on gases exchange in the leaves of maize (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communication*, 36, 2008: 895-898.
- /15/ Lu, L. H., Li, Y., M., Hu, Y. K.: Effect of water stress on photosynthetic characteristics and yield characters of two wheat cultivars with different resistances to drought. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 28, 2005: 15-30.
- /16/ Meng, Z. J., Bian, X. M., Liu, A., N., Pang, H. B., Wang, H. Z.: Effect of regulated deficit irrigation on physiological and photosynthetic hcharacteristics of winter wheat and its optimized combination with agronomic techniques. *Journal of Triticae Crops*, 26, 2006: 86-92.
- /17/ Xu, Ch., Jing, R., Mao, X., Jia, X., Chang, X.: A wheat (*Triticum aestivum*! protein phosphatase 2A catalytic subunit gene provides enhanced drought tolerance in tobacco. *Annals of Botany*, 99, 2007: 439-450.

## Pod'akovanie

Práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektov KEGA 044UKF-4/2012, VEGA 1/0509/12 a UGA VII/11/2012.

## REAKCE ROSTLIN NA VYSYCHÁNÍ PŮDY: ZMĚNY CHEMICKÉHO SLOŽENÍ XYLÉMOVÉ ŠŤÁVY JAKO POTENCIÁLNÍ SIGNÁL

### ***PLANT RESPONSE TO SOIL DRYING: CHANGES IN CHEMICAL COMPOSITION OF XYLEM SAP AS POTENTIAL SIGNAL***

Halyna Korovetska, Vít Gloser

Masaryk University, Faculty of Science, Department of Experimental Biology, Kamenice 5, 625 00 Brno, korovetska@mail.muni.cz, VitGloser@sci.muni.cz

#### ***Summary***

We explored response of *Helianthus annuus* L. plants to decline of water availability in soil. We demonstrate that plants can respond to soil drying prior to changes in leaf water potential and these changes are mediated by chemical signals. The pH of xylem sap is the most important candidate for the early long distance signal that affects stomatal aperture in *H. annuus* plants. The changes of sap pH in relation to soil water content are non-linear with one maximum. The pattern of changes in xylem sap composition indicates that also other ions such nitrate and sulphate most likely contribute to the modulation of strength of the pH signal in effect on ABA redistribution and, consequently, regulatory effects on stomata.

*Key words: Helianthus annuus* L., long-distance signals, xylem sap pH, drought stress

#### ***Souhrn***

Zkoumali jsme reakci rostlin slunečnice (*Helianthus annuus*) na pokles dostupnosti vody v půdě. Ukázalo se, že tyto rostliny reagují na snížení dostupnosti vody zpomalením transpirace ještě před tím, než dojde ke změně vodního potenciálu listů. Tyto změny jsou zřejmě vyvolány dálkovými chemickými signály transportovanými v xylému. pH xylémové šťávy je nejvýznamnější kandidát na hlavní dálkový signál ovlivňující otevřenost průduchů v listech *H. annuus*. Pozorované změny pH v xylému ve vztahu k vlhkosti půdy byly nelineární s jedním maximem. Podobnost ve tvaru závislosti změn koncentrace na obsahu vody v půdě naznačuje, že zřejmě i další ionty – nitrát a sulfát, pravděpodobně přispívají k modulaci vlivu pH na distribuci ABA a následně regulačního působení na buňky průduchů.

*Klíčová slova: Helianthus annuus* L., dálková signalizace, pH xylémové šťávy, stres suchem

## INTRODUCTION

As soil dries, various signaling molecules from roots are transported in xylem to leaves and affect their functions such stomatal movement or leaf growth [2]. Absciscic acid (ABA) is a key regulator of stomatal opening but the role of root-sourced ABA as the major long-distance chemical signal has been challenged several times [5, 7]. Hence, other chemical signals produced by root under drought could contribute to signalling to shoot in response to drought.

Several compounds that are transported in xylem may potentially serve as long-distance signals (e.g. pH, malate, nitrate, jasmonic acid) and they may also interact with ABA to

facilitate stomatal closure under drought stress /3, 9, 10/. Information about the role of compounds involved in the early drought signaling and their strength is still fairly scarce but it could be very helpful for possible manipulation of plant response and breeding of drought-resistant cultivars.

The aim of our work was to investigate changes in the composition of xylem sap under broad range of water availability in soil and identify chemical compounds that may potentially be involved in the early signalling of soil water deficit in *Helianthus annuus* L. plants.

## MATERIALS AND METHODS

The sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) were grown from seeds for four weeks in 1.5L plastic pots filled with John Innes No.2 Soil Based Compost (William Sinclair Horticulture, UK) in the cultivation room with temperature 24/20°C (day/night) and irradiance PPFD 450  $\mu\text{mol. m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Plants were supplied with full Hoagland nutrient solution. Plant watering was stopped when experimental measurements started. The stomatal conductance was measured by AP4 leaf porometer (Delta-T devices Ltd., UK). Leaf water potential was estimated by pressure chamber technique (Skye instruments, UK). Xylem sap was extracted from petiole of pressurized leaf and its mean pH measured by pH microelectrode (Thermo-Orion 9810BN). Concentrations of sulphate were determined by capillary isotachophoresis (EA 102, Villa-Labeco, Slovakia). Concentration of nitrate was assayed by colorimetric method /1/. Soil water content (SWC) was monitored using ThetaProbe connected to HH2 meter (Delta-T Devices Ltd., UK).

## RESULTS AND DISCUSSION

Our results showed that stomatal conductance decreased when leaf water potential of *H. annuus* plants remained unchanged. Stomatal conductance started to decrease at SWC of about 0.36  $\text{g g}^{-1}$ , whereas leaf water potential remained stable till 0.28  $\text{g g}^{-1}$  (Fig. 1). This shows that stomata of *H. annuus* responded to chemical signals produced during soil drying rather to changes in water status of leaves. Similar response of sunflower was described by /4/ with pressurized root systems, which indicates a dominant role of chemical signals over hydraulic signals that may also contribute to long-distance signalling.

Changes in ionic composition of xylem sap may potentially serve as early root to shoot signal of drought and could have an effect on the stomatal conductance /4/. In our experiments we focussed namely on concentrations of protons, nitrate and sulphate that were previously shown to affect stomatal response in *H. annuus* and some other species.

We found that pH of xylem sap of *H. annuus* plants responded to changes in SWC in non-linear relationship. pH increased from 6.4 to 7.4 when SWC declined to 0.4  $\text{g g}^{-1}$  and dropped to lower than 6.2 when SWC further decreased (Fig. 2). These results clearly show that sap pH increased only at the early stage of soil drying before any changes in leaf water potential occurred. Moreover, sap pH decreased again under more severe drought. It is generally accepted that pH of the leaf apoplast is a factor that can significantly affect the ABA distribution in leaf or even cause its additional release from the mesophyll cells. More alkaline pH of apoplast would contribute to a sequestration of more ABA in the apoplast and promote stomatal closure in response to greater availability of ABA to stomatal cells /10/. It has also



been demonstrated that ABA concentration in xylem sap of *H. annuus* plants increased with decreasing SWC /4/. So both increased ABA transport from roots and its altered redistribution in leaf due to increased pH in apoplast may be responsible for changes in stomatal aperture.

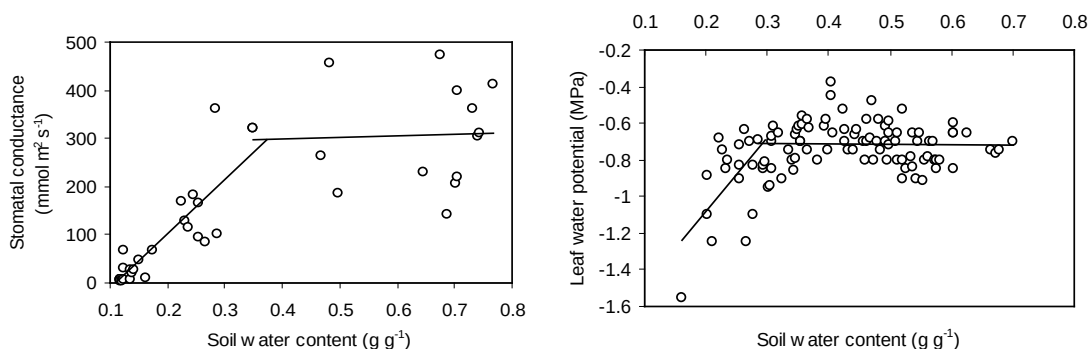


Fig. 1: The effect of changes in soil water content on the stomatal conductance and leaf water potential of *Helianthus annuus* L. plants. Each point represents one measurement of a single plant. Trend lines indicate two phases of response and approximate SWC where physiological changes started.

Mechanisms behind changes of pH in apoplast of leaves under drought are still not clear. One explanation is that plants in drying soil shift their  $\text{NO}_3^-$  assimilation to roots and hence more organic acids are produced during N assimilation in roots and exported to xylem, which leads to change in pH of xylem sap /9/. Our results show that concentration of  $\text{NO}_3^-$  gradually increased when SWC decreased from 0.4 g  $\text{H}_2\text{O/g}$  soil and decreased with further decline of SWC (Fig. 3). Therefore, more  $\text{NO}_3^-$  was transported to leaves during early stages of soil drying and shift of assimilation of  $\text{NO}_3^-$  from shoot to root seems unlikely at this stage. Alternatively,  $\text{NO}_3^-$  may alkalize leaf apoplast because of its co-transport with protons into cytoplasm of mesophyll cells /6/. Reduction in stomatal conductance in response to xylem sap ABA was much stronger when higher concentrations of  $\text{NO}_3^-$  were present in xylem sap /8, 10/. Our data fit well with these findings as decrease in stomatal conductance occurred at the same SWC at which the xylem sap  $\text{NO}_3^-$  concentration was the highest (Figs. 1, 3). Therefore, elevated  $\text{NO}_3^-$  concentration in leaf apoplast may be one part of signalling mechanism leading to early response of stomata to reduced SWC.

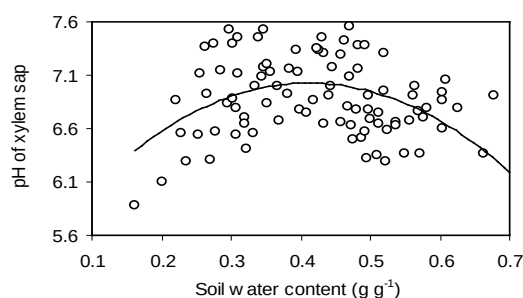


Fig. 2: The effect of changes in soil water content on pH of xylem sap of *Helianthus annuus* L. plants. Each point represents one measurement of a single plant.

Recently, more evidence appeared that amounts of ABA transported to leaves in early stages of drought are not sufficient to trigger stomatal response /5/. In *Zea mays* plants synthesis of ABA in both roots and leaves can be triggered by sulphate /3/. Moreover,

increased concentrations of sulphate can also increase sensitivity of stomata to ABA concentrations in leaf apoplast. Our results indicate that pattern of changes of sulphate concentration in xylem sap under range of SWC was similar to changes in nitrate concentration in drying soil (Fig. 3). Increase in concentration of sulphate occurred only in the early stage of water stress and its maximum overlapped with the start of decrease in stomatal conductance. Hence, our results support putative signalling role of sulphate in plants [3].

We conclude that in *H. annuus* the pH of xylem sap is the most important candidate for the early long distance signal of drought but both nitrate and sulphate most likely contribute to the modulation of strength of the pH signal in its effect on stomata.

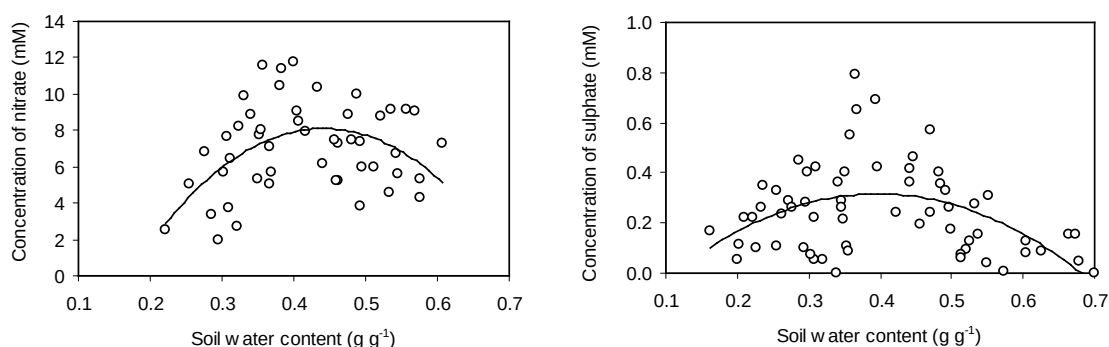


Fig. 3: The effect of changes in soil water content on the concentration of nitrate and sulphate in xylem sap of *Helianthus annuus* L. plants. Each point represents one measurement of a single plant. Lines indicate trends in data across wide range of soil water content.

## REFERENCES

- /1/ Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., Youngs, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 1975: 71-80.
- /2/ Davies W. J., Zhang J. H. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42, 1991: 55 – 76.
- /3/ Ernst, L., Goodger, J.Q.D. et al.: Sulphate as a xylem-borne chemical signal precedes the expression of ABA biosynthetic genes in maize roots. *Journal of Experimental Botany*, 61, 2010: 3395 – 405.
- /4/ Gollan, T., Schurr U., Schulze E.-D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. I. The concentration of cations, anions, amino acids in, and pH of, the xylem sap. *Plant, Cell & Environment*, 15, 1992: 551-559.
- /5/ Goodger J.Q., Schachtman D.P.(2010) Re-examining the role of ABA as the primary long-distance signal produced by water-stressed roots. *Plant Signalling and Behaviour*, 5, 2010: 1298-301.
- /6/ Mengel, K., Planker, R., Hoffmann, B. Relationship between leaf apoplast pH and iron chlorosis of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 17, 1997: 1053-1065.
- /7/ Munns R., King R.W. Absciscic acid is not the only stomatal inhibitor in the transpiration stream of wheat plants *Plant Physiology*, 88, 1988: 703-708.
- /8/ Schurr U., Gollan, T., Schulze E.-D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. II. Stomatal sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. *Plant, Cell & Environment*, 15, 1992: 561-567.
- /9/ Wilkinson S., Bacon M.A., Davies W.J. Nitrate signalling to stomata and growing leaves: Interactions with soil drying, ABA, and xylem sap pH in maize. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2007: 1705-1716.
- /10/ Wilkinson S., Davies W. J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell and Environment*, 25, 2002: 195 – 210.

## Acknowledgment

The authors would like to thank Oldřich Jůza for excellent technical assistance, Helena Steigerová, Ana Martín-Vertedor and Martina Fojtů for help with experimental work.

## SUCHO AKO FAKTOR LIMITUJÚCI TRANSPIRÁCIU DOSPELÝCH JEDINCOV BUKA

### *DROUGHT AS A FACTOR LIMITING TRANSPIRATION RATE OF ADULT EUROPEAN BEECH (FAGUS SYLVATICA L.)*

Paulína Nalevanková<sup>1</sup>, Katarína Střelcová<sup>1</sup>, Zuzana Sitková<sup>2</sup>, Adriana Leštianska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technická univerzita vo Zvolene, LF, T.G.Masaryka 24, 960 53 Zvolen, paulinkan@azet.sk,

<sup>2</sup> NLC – Lesnícký výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen

#### *Summary*

The paper presents preliminary results of transpiration rate of adult European beech (*Fagus sylvatica* L.) under different soil moisture conditions. The experimental plot was established on April 4, 2012 in the even-aged 55-years old beech forest. The transpiration dependency on meteorological factors was investigated from July to September 2012. The 12 measured trees were divided among two groups: a drought-stressed (control) group and an irrigated group. The sample trees were chosen to represent the diameter distribution of the stands. Irrigation was applied during the drought periods when the soil water potential dropped to a minimum. The drought-stressed trees achieved substantially lower values of transpiration rate in comparison to the irrigated group.

*Key words: sap flow, transpiration, drought, soil water content, European Beech – Fagus sylvatica*

#### *Súhrn*

Príspevok prezentuje predbežné výsledky skúmania transpirácie dospelých jedincov buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) v rôznych podmienkach pôdnej vlhkosti. Pokusná plocha bola založená 4. apríla 2012 v rovnomernom, 55 ročnom poraste. 12 pokusných vzorníkov bolo rozdelených na suchom stresovanú skupinu (kontrola) a zavlažovanú skupinu. Vybrané vzorníky reprezentujú priemerné rozdelenie expozícií. Zavlažovanie bolo aplikované počas obdobia sucha, kedy vodný potenciál pôdy klesol na minimum. Suchom stresované stromy dosahovali podstatne nižšie hodnoty transpirácie v porovnaní so zavlažovanou skupinou.

*Kľúčové slová: Transpiračný prúd, transpirácia, sucho, obsah vody v pôde, buk lesný*

## ÚVOD

K vonkajším faktorom ovplyvňujúcim transpiráciu patrí intenzita slnečného žiarenia, teplota, vlhkosť pôdy a vzduchu, vietor, exhaláty a iné. K vnútorným faktorom patrí druh a vek rastliny, zdravotný stav, obsah vody, tvar listov a ich rozloženie a ďalšie. V prípade dostatočného zásobenia pôdy vodou je množstvo vytranspirovanej vody takmer výlučne odrazom evaporačných požiadaviek ovzdušia daných aktuálnym stavom ovzdušia. V čase zníženej dostupnosti pôdnej vody, teda vo fáze vysychania pôdy, reagujú prieduchy drevín čiastočným až úplným uzavretím, čím dôjde k redukcii transpirácie [3]. Najvýznamnejším meteorologickým prvkom ovplyvňujúcim transpiráciu a evapotranspiráciu je slnečné žiarenie, ktoré formuje priebeh ostatných faktorov.

V tejto práci sú predmetom hodnotenia údaje o transpirácii dospelých vzorníkov buka lesného a transpiračná odozva na vývoj meteorologických prvkov a pôdnej vlhkosti v júli,

auguste a septembri 2012. Cieľom bolo zhodnotiť transpiračnú reakciu buka na rôzny režim vlhkosti pôdy (sucho, prirodzené vlhkostné podmienky a režim závlahy).

## MATERIÁL A METÓDY

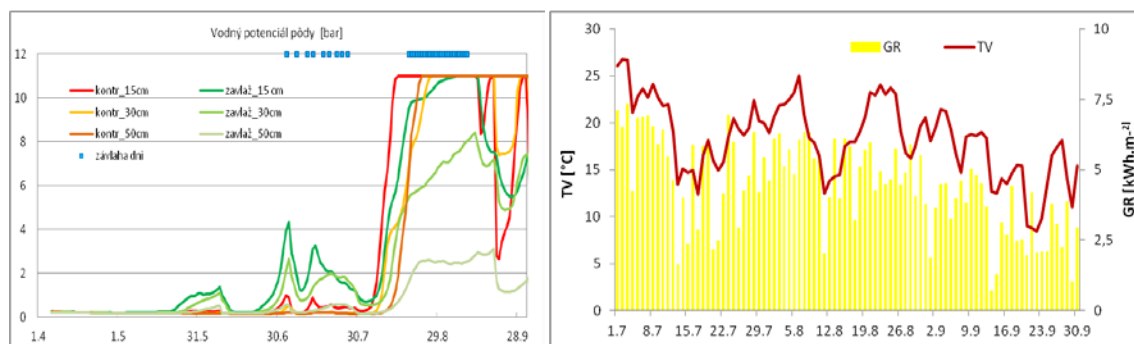
Meranie transpiračného prúdu sa uskutočnilo na výskumnej plche Bienska dolina, v 55-ročnom, jednoetážovom poraste buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) s 85% zastúpením buka a sprievodnými drevinami dub (10 %) a smrekovec (5 %) v nadmorskej výške 450 m, 3. lesný vegetačný stupeň, dubovo – bukový.

Pre zistenie transpirácie porastu bolo realizované kontinuálne meranie transpiračného prúdu na 12 jedincoch buka lesného rozdelených do dvoch skupín (6 jedincov zavlažovaných, 6 kontrolných nezavlažovaných). Meranie prebieha s využitím metódy tepelnej bilancie (THB) /1,5/. Meteorologické prvky boli merané digitálnou meteorologickou stanicou (EMS Brno, CZ). Merané boli nasledovné prvky: teplota a vlhkosť vzduchu, globálne žiarenie (2m nad zemou), zrážky (1m nad zemou) a vodný potenciál pôdy v troch hĺbkach 15 cm, 30 cm a 50 cm sondou MicroLog SP3. Za účelom komparačnej štúdie fyziologických procesov u jedincov buka stresovaných a nestresovaných pôdnym suchom, bol v poraste vybudovaný zavlažovací systém. Jednotlivé zavlažovacie dávky o objeme 3 m<sup>3</sup> boli do porastu aplikované na povrch pôdy v poraste počas mesiacov júl až september (96 m<sup>3</sup>, čo zodpovedá zrážkovému úhrnu 820 mm).

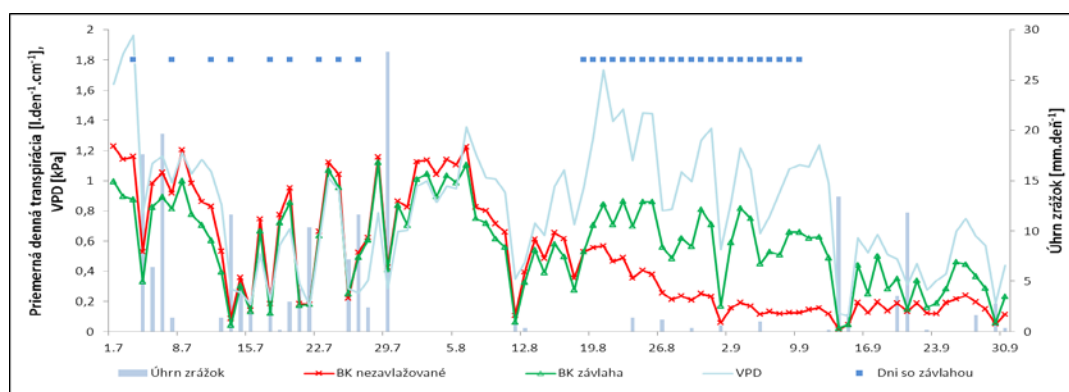
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vegetačná sezóna roku 2012 bola meteorologicky zaujímavá z hľadiska striedania a častého výskytu extrémnych situácií. Porovnanie základných meteorologických prvkov s dlhodobým priemerom 1961 – 1990 odvodeným pre mezoklimatickú stanicu Boky-sever (TUZVO) ukázalo, že aj na modelovej lokalite Bienska dolina boli z hľadiska teploty vzduchu všetky mesiace nadpriemerne teplé, nezriedka s výskytom mimoriadne vysokých denných hodnôt, s mimoriadne nízkym úhrnom zrážok (okrem júna). Priemerná mesačná teplota v auguste (19,6 °C) prekročila normál o 3,4 °C. Zo sezónneho priebehu vodného potenciálu pôdy vidíme (obr. 1), že od konca mája hodnoty pôdného potenciálu vo všetkých hĺbkach (najviac v 15 cm) postupne narastajú v absolútnej hodnote, a začiatkom augusta dosahujú najmä v kontrolnej skupine bukov kritickú hodnotu -1100 kPa, kedy už je pre dreviny voda z pôdy prakticky nedostupná. Dlhotrvajúca 45-denná perióda sucha počas augusta a začiatkom septembra, vytvorila priaznivé podmienky pre výskum fyziologických procesov ovplyvnených výrazným deficitom pôdnej vlhkosti.

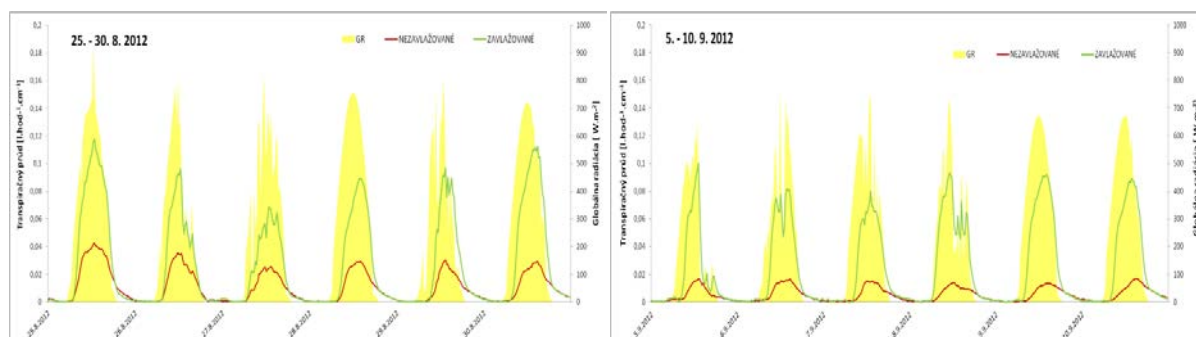
Priebeh výšky transpirácie oboch skupín buka od začiatku pozorovaného obdobia kopíruje priebeh globálnej radiácie, vlhkosti vzduchu i zrážok (obr. 1, 2), avšak pri vysokých hodnotách vodného potenciálu pôdy (obr. 1), zaznamenanými od začiatku augusta, to tak, najmä v kontrolnej skupine, nie je. V nezavlažovanej skupine bola dynamika transpirácie limitovaná nedostatkom vody. Počas dní s nízkymi hodnotami globálnej radiácie a s vyššími úhrnmi zrážok dochádza k poklesu transpirácie aj vtedy ak nie je obsah pôdnej vody limitujúcim faktorom. Matejka et al. 2009 uvádzajú /3/, že v prípade ak je drevina dostatočne zásobená pôdnou vodou, transpirácia je ovplyvňovaná predovšetkým evaporačnými požiadavkami ovzdušia. Z nami nameraných údajov a vytvorených grafov je zrejmé, že priemerná denná transpirácia zavlažovaných vzorníkov buka, ktoré majú dostatok pôdnej vlhkosti, koreluje s dennými priermi sýtostného doplnku (obr. 2) viditeľne lepšie ako transpirácia suchom stresovaných vzorníkov.



Obr. 1: Denný priebeh vodného potenciálu pôdy, teploty vzduchu a globálnej radiácie počas vegetačného obdobia roku 2012



Obr. 2: Priebeh sýtostného doplnku (kPa), denných súm zrážok (mm) a transpiračného prúdu ( $\text{l} \cdot \text{den}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) (priemer nezavlažovanej a zavlažovanej skupiny buka)



Obr. 3: Priebeh priemerných hodnôt transpiračného prúdu zavlažovanej a nezavlažovanej skupiny buka a globálnej radiácie na začiatku a na konci zavlažovaného obdobia

Zo sledovaného obdobia sme si pre porovnanie závislosti transpirácie na vybraných meteorologických charakteristikách vybrali 6 dní s vysokými hodnotami radiácie na začiatku a 6 dní na konci zavlažovaného obdobia. Z obrázku 3 a tabuľky 1 je zrejmé, že hodnoty transpiračného prúdu oboch skupín drevín reagovali na zmeny globálnej radiácie. Globálne žiarenie a sýtostný doplnok sú najvýznamnejšie a zároveň relatívne najjednoduchšie kvantifikovateľné faktory, ovplyvňujúce prieduchovú vodivosť. Reakcia prieduchov na sýtostný doplnok sa v období sucha a vlhka výrazne líši. Schopnosť rastliny riadiť otváranie prieduchov jej umožňuje prispôbovať rýchlosť transpirácie potrebám vlastnej vodnej bilancie.

V rovnakom období došlo k zjavnej redukcii v transpirácii nezavlažovaných jedincov vystavených pôdnemu suchu (-11 barov vo všetkých hĺbkach). Naopak zavlažované jedince

vykazovali v tomto období viditeľne vyššie hodnoty transpirácie. Dynamika transpirácie skupiny vzorníkov, ktorej pôdna vlhkosť bola upravená aplikovanou závlahou a teda nebola limitovaná nedostatkom pôdnej vody sa vyvíjala v závislosti od evaporačných požiadavok ovzdušia. Pri nedostatku vody v pôde je sezónny priebeh modifikovaný predovšetkým obsahom vody v pôde. Ak je voda limitujúcim faktorom, intenzita transpirácie klesá a závisí práve od dostupnosti vody v pôde /1/, tak ako sme to pozorovali v auguste a v septembri roku 2012 na skupine nezavlažovaných bukových vzorníkov.

Tab.1: Prehľad výsledkov regresnej a korelačnej analýzy závislosti transpiračného prúdu a vybraných meteorologických charakteristík na základe koeficientov determinácie

| Nezávislá premenná<br>Typ závislosti |                   | Skupina   | Časový posun, počet meraní n |         |         |         | Nezávislá premenná<br>Typ závislosti |           | Skupina | Časový posun, počet meraní n |         |         |         |
|--------------------------------------|-------------------|-----------|------------------------------|---------|---------|---------|--------------------------------------|-----------|---------|------------------------------|---------|---------|---------|
|                                      |                   |           | 0 min.                       | 20 min. | 60 min. | 80 min. |                                      |           |         | 0 min.                       | 20 min. | 60 min. | 80 min. |
|                                      |                   |           | n = 432                      | n = 431 | n = 429 | n = 428 |                                      |           |         | n = 432                      | n = 431 | n = 429 | n = 428 |
| 25. - 30. 8. 2012                    | Globálne žiarenie | Zavlaž.   | 0,723                        | 0,7942  | 0,8656  | 0,8776  | Globálne žiarenie                    | Zavlaž.   | 0,741   | 0,8174                       | 0,831   | 0,8206  |         |
|                                      | $y = a+bx$        | Nezavlaž. | 0,6455                       | 0,7181  | 0,8077  | 0,8299  | $y = a+bx$                           | Nezavlaž. | 0,3851  | 0,4743                       | 0,6242  | 0,689   |         |
|                                      | Teplota vzduchu   | Zavlaž.   | 0,7017                       | 0,6711  | 0,5755  | 0,515   | Teplota vzduchu                      | Zavlaž.   | 0,6327  | 0,5948                       | 0,4788  | 0,4131  |         |
|                                      | $y = a+bx$        | Nezavlaž. | 0,7505                       | 0,736   | 0,6692  | 0,6202  | $y = a+bx$                           | Nezavlaž. | 0,6766  | 0,6947                       | 0,691   | 0,6698  |         |
|                                      | VPD               | Zavlaž.   | 0,8293                       | 0,7768  | 0,6319  | 0,5478  | VPD                                  | Zavlaž.   | 0,7179  | 0,6538                       | 0,4839  | 0,3964  |         |
|                                      | $y = a+bx$        | Nezavlaž. | 0,8355                       | 0,8025  | 0,69445 | 0,6252  | $y = a+bx$                           | Nezavlaž. | 0,7511  | 0,759                        | 0,7276  | 0,6888  |         |
| 5. - 10. 9. 2012                     | Globálne žiarenie | Zavlaž.   | 0,723                        | 0,7942  | 0,8656  | 0,8776  | Globálne žiarenie                    | Zavlaž.   | 0,741   | 0,8174                       | 0,831   | 0,8206  |         |
|                                      | $y = a+bx$        | Nezavlaž. | 0,6455                       | 0,7181  | 0,8077  | 0,8299  | $y = a+bx$                           | Nezavlaž. | 0,3851  | 0,4743                       | 0,6242  | 0,689   |         |
|                                      | Teplota vzduchu   | Zavlaž.   | 0,7017                       | 0,6711  | 0,5755  | 0,515   | Teplota vzduchu                      | Zavlaž.   | 0,6327  | 0,5948                       | 0,4788  | 0,4131  |         |
|                                      | $y = a+bx$        | Nezavlaž. | 0,7505                       | 0,736   | 0,6692  | 0,6202  | $y = a+bx$                           | Nezavlaž. | 0,6766  | 0,6947                       | 0,691   | 0,6698  |         |
|                                      | VPD               | Zavlaž.   | 0,8293                       | 0,7768  | 0,6319  | 0,5478  | VPD                                  | Zavlaž.   | 0,7179  | 0,6538                       | 0,4839  | 0,3964  |         |
|                                      | $y = a+bx$        | Nezavlaž. | 0,8355                       | 0,8025  | 0,69445 | 0,6252  | $y = a+bx$                           | Nezavlaž. | 0,7511  | 0,759                        | 0,7276  | 0,6888  |         |

Vypočítané výsledky svedčia o tesnej korelácii medzi globálnou radiáciou, teplotou vzduchu, sýtosťným doplnkom a množstvom vytranspirovanej vody. Pri globálnej radiácii bola preukázaná najvyššia - veľmi vysoká tesnosť závislosti pri časovom posune 1 hodina 20 minút pri oboch obdobiach, pričom pri zavlažovaných vzorníkoch je tesnosť závislosti najvyššia. Reakcia rastlín na sucho je závislá aj na dĺžke trvania, resp. kumulácii deficitu vody /5/, čo potvrdzujú koeficienty determinácie obdobia od 5. do 10.9., ktoré vykazujú nižšiu závislosť v porovnaní so začiatkom zavlažovaného obdobia, z dôvodu dlhšieho trvajúceho stresu suchom.

## LITERATÚRA

- /1/ Čermák, J., Prax, A.: Water balance of a Southern Moravian floodplain forest under natural and modified soil water regimes and its ecological consequences. Ann. For. Sci., 58, 2001: 15–29.
- /2/ Kučera et al.: A system for water flux measurements in plants (in Czech). Patent (Certificate of authorship) CSFR No. 185039 (P.V. 2651-1976). Bureau for Inventions and Discoveries, Prague. 1977
- /3/ Matejka, F., Štřelcová, K., Hurlalová, T., Gömöryová, E., Dítmarová, L.: Seasonal changes in transpiration and soil water content in a spruce primeval forest during a dry period. In Bioclimatology and natural hazards. Springer, 2009: 298 p.
- /4/ Niinemets, U., Copolovici, L., Hüve, K.: High within-canopy variation in isoprene emission potentials in temperate trees: Implications for predicting canopy-scale isoprene fluxes. Journal of Geophysical Research, Vol. 115, G04029, 2010: 19 pp.
- /5/ Tatarinov, F. A., Kučera, J., Cienciala, E.: The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods. Meas. Sci. Technol. 16, 2005: 1157–1169

## Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0111-10 a APVV-0423-10.

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: *Integrovaný systém pre simuláciu odtokových procesov*, ITMS: 26220220066, aktivita 2.1, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (30 %).

## **ANALÝZA VÝVOJA POĽNOHOSPODÁRSKEJ SEZÓNY 2012 Z HĽADISKA VÝSKYTU SUCHA V POĽNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINE: PRÍKLAD KUKURICE NA ZRNO**

### ***THE ANALYSIS OF THE AGRICULTURAL SEASON 2011/2012 IN TERMS OF DROUGHT OCCURENCE IN AGRICULTURAL LAND: THE GRAIN MAIZE EXAMPLE***

Martina Nováková, Rastislav Skalský, Jozef Takáč

Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava,  
m.novakova@vupop.sk, r.skalsky@vupop.sk, j.takac@vupop.sk

#### ***Summary***

Drought occurrence in agricultural land can be considered as a complex phenomenon. Its occurrence in agricultural land can be assessed in several ways; as meteorological drought, as soil drought or physiological drought and all of them may have an impact on the productive capacity of agricultural crops. This paper considers the problem of multi-level analysis of drought in the agricultural season in 2012 through the application of the national system of agro-meteorological modeling (SK\_CGMS). In the analysis, there were used meteorological data, phenological data, soil data, crop data and statistics on planted areas and yields of winter wheat and grain maize at the NUTS4 level in period 1997 - 2011. In the analysis, there were applied the methods of spatial interpolation of meteorological data, agro-hydrological modeling of soil moisture status, bio-physical modeling of growth and production and statistical methods - regression analysis to estimate the yield of winter wheat and grain maize. All mentioned methods are implemented within SK\_CGMS. The results of the analysis confirmed the occurrence of meteorological drought for most of the period from January to August 2012 and the occurrence of soil drought with a gradual decrease in the relative soil moisture, especially in winter and spring crops. As well, the results of the analysis confirmed the impact of weather and soil droughts on growth and production of winter wheat and maize grain, and the impact of drought on their expected yields 2012.

*Key words: drought, agricultural land, modelling, SK\_CGMS*

#### ***Súhrn***

Sucho v poľnohospodárskej krajine možno považovať za komplexný jav. Jeho výskyt a prejav v poľnohospodárskej krajine možno hodnotiť z viacerých hľadísk, a to ako meteorologické sucho, pôdne sucho alebo fyziologické sucho, pričom všetky ovplyvňujú a môžu mať dopad na produkčnú schopnosť poľnohospodárskych plodín. Príspevok sa na príklade kukurice na zrno venuje problematike viacúrovňovej analýzy výskytu sucha v poľnohospodárskej sezóne v roku 2012 prostredníctvom aplikácie národného systému agrometeorologického modelovania (SK\_CGMS). Pri analýze boli použité meteorologické, fenologické, pôdne údaje, údaje o plodinách a štatistické údaje o osevných plochách a dosiahnutých úrodách kukurice na zrno na okresnej úrovni za obdobie rokov 1997 - 2011. Aplikovaná bola metóda priestorovej interpolácie meteorologických údajov, agrohydrologické modelovanie vlhkostného stavu pôd, biofyzikálne modelovanie rastu a produkcie, štatistické metódy – metódy regresného počtu pri odhade úrod kukurice na zrno; všetky sú implementované v rámci SK\_CGMS. Výsledky analýzy potvrdili výskyt meteorologického sucha takmer počas celého obdobia január – august 2012, výskyt pôdneho sucha s postupným poklesom relatívnej

vlhkosti pôdy, dopad a prejav meteorologického a pôdneho sucha na raste a tvorbe produkcie kukurice na zrno, ako aj dopad výskytu sucha na ich predpokladané úrody v roku 2012.

*Kľúčové slová: sucho, poľnohospodárska krajina, modelovanie, SK\_CGMS*

## ÚVOD

K tradičným, a zároveň stále aktuálnym úlohám riešeným Výskumným ústavom pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP), patrí problematika analýzy a hodnotenia vývoja aktuálnej poľnohospodárskej sezóny, pričom dôraz je kladený predovšetkým na hodnotenie charakteru a vývoja počasia, stavu a vývoja porastov konkrétnych poľnohospodárskych plodín ako východiska pre kvantifikovaný odhad ich úrod a produkcie.

Extrémne poveternostné situácie môžu mať negatívny vplyv na rast a vývoj porastov poľnohospodárskych plodín. V niektorých prípadoch môže dôjsť aj k ich funkčnému poškodeniu a zníženiu produkcie úrody. S ohľadom na pravdepodobnosť výskytu a výmeru postihnutej plochy patrí v našich podmienkach k pomerne významným stresorom sucho. Definícia sucha môže byť rôzna. Rozlišuje sa napr. klimatické sucho /6/; pôdne sucho /16/ či vodný stres rastlín – fyziologické sucho /cf. 3/.

V závislosti od použitej definície sucha je možné jeho výskyt sledovať, analyzovať, hodnotiť a interpretovať viacerými spôsobmi. Najčastejším spôsobom je vyhodnocovanie bodových meraní klimatických, fenologických alebo pôdnych charakteristík v podobe klimatických indexov /6/, agroklimatických indexov /15/ či vybraných hydrolimitov pôdy /17/. Výstupy takýchto analýz sa vzťahujú ku konkrétnym bodom (meteorologickým a fenologickým staniciam; k pôdnym odberovým miestam). V prípade potreby môžu byť extrapolované v priestore.

Alternatívou uvedeného prístupu je analýza a interpretácia údajov, ktoré majú plošný charakter. Sú reprezentované plošnými priestorovými jednotkami, ktoré pokrývajú celé záujmové územie. Príkladom môžu byť údaje z diaľkového prieskumu Zeme, vybrané metódy agro-meteorologického a bio-fyzikálneho modelovania /napr. 5/, prípadne aj ich vzájomná integrácia v rámci rôznych systémov monitorovania /napr. 12, JRC Ispra – 2/.

V rokoch 2007 – 2009 bol pre SR na základe metodiky vyvinutej a pre európske krajiny doporučenej JRC (uvedenej vyššie) vybudovaný národný systém agrometeorologického modelovania SK\_CGMS s aplikačnou koncovkou kvantifikovaného odhadu úrod a závlahového dispečingu /10/.

Príspevok sa venuje problematike aplikácie národného systému agrometeorologického modelovania (SK\_CGMS) v poľnohospodárskej sezóne 2011/2012; na príklade kukurice na zrno sú v príspevku prezentované možnosti výstupov tohoto systému pri viacúrovňovej analýze a hodnotení výskytu sucha v poľnohospodárskej krajine.

## MATERIÁL A METÓDY

### *Sucho v poľnohospodárskej krajine*

Sucho sa v poľnohospodárskej krajine, ktorú možno zjednodušene považovať za systém pôda – rastlina – atmosféra (systém PRAT), prejavuje viacúrovňovo; týka sa všetkých zložiek systému PRAT samostatne, pričom pri výskyte sucha v poľnohospodárskej krajine je potrebné



uvažovať aj s existenciou kauzálnych (príčinno-následných) vzťahov v tomto systéme, t.j. sucho možno považovať za komplexný jav.

Sucho z komplexného hľadiska sa prejavuje najprv ako meteorologické sucho (dlhotrvajúce obdobie s nedostatkom atmosférických zrážok, s vysokou teplotou vzduchu a tým podmienenou vysokou úrovňou potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie); v prípade, že meteorologické sucho trvá dostatočne dlhú dobu, prejaví sa zníženým obsahom vody v koreňovej zóne rastlín až dosiahne úroveň pôdných limitov – ako bod zníženej dostupnosti a bod vädnutia, pričom takýto stav sa označuje ako pôdne sucho; nakoniec, po prekročení schopnosti adaptability konkrétnej rastliny na nedostatok vody v pôde, resp. na vodný stres, sa sucho prejaví aj ako fyziologický jav, ktorý ovplyvňuje produkčnú schopnosť poľnohospodárskej plodiny.

#### *Systém SK\_CGMS a analýza sucha v poľnohospodárskej krajine*

Národný systém agrometeorologického modelovania SK\_CGMS pozostáva z viacerých úrovní, z ktorých každá má vlastné zameranie a každá úroveň umožňuje analyzovať a hodnotiť určitý aspekt sucha a jeho prejavov v poľnohospodárskej krajine /príspevok nadväzuje na práce 8 alebo 9/.

*Monitoring počasia (1.úroveň SK\_CGMS):* Implementovaná je metóda agrometeorologického modelovania, t.j. priestorová interpolácia nameraných bodových klimatických údajov a priestorová reprezentácia odvodených agroklimatických indexov ako indikátorov klimatického sucha. Výstupom monitoringu počasia sú interpretované meteorologické údaje, priestorovo reprezentované prostredníctvom definovanej gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10x10 km – tzv. meteorologické a klimatické indikátory, ktoré umožňujú hodnotiť charakter aktuálnej vegetačnej sezóny a bližšie analyzovať vplyv vývoja počasia na stav a vývoj poľnohospodárskych plodín.

*Monitoring vývoja poľnohospodárskych plodín (2.úroveň SK\_CGMS):* Implementovaná je metóda agro-hydrologického modelovania, t.j. simulácia a priestorová reprezentácia vybraných ukazovateľov vlhkostného stavu pôdy ako indikátorov pôdneho sucha; ako aj metóda bio-fyzikálneho modelovania, t.j. simulácia a priestorová prezentácia vybraných vegetačných indexov ako indikátorov fyziologického sucha. Simulácie sú zabezpečené agrometeorologickým a biofyzikálnym modelom WOFOST /13, 14/. Výstupné vegetačné indexy a indikátory sú priestorovo reprezentované prostredníctvom definovanej gridovej siete s priestorovým rozlíšením 1x1 km.

*Štatistické analýzy – odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín (3.úroveň SK\_CGMS):* Odhady úrod sú stanovené prostredníctvom aplikácie vybraných štatistických metód na výsledky monitoringu počasia (meteorologické a klimatické indikátory) a monitoringu vývoja poľnohospodárskych plodín (interpretované a simulované vegetačné indexy a indikátory) a časové rady dosiahnutých priemerných úrod; odhady priemerných úrod jednotlivých plodín sú odvodené pre definované priestorové elementy - administratívne jednotky, v tomto prípade okresy.

#### *Použité údaje*

V príkladovej štúdii boli použité tieto údaje:

- *klimatické údaje* zo 70 klimatických staníc v sieti SHMÚ; konkrétne denné údaje: minimálna, maximálna a priemerná denná teplota vzduchu (°C), trvanie slnečného svitu (hod), tlak

vodných pár (hPA), priemerná rýchlosť vetra ( $\text{m.s}^{-1}$ ) a úhrny atmosférických zrážok (mm) za rok obdobie 2011 – 2012; pri priestorovej interpolácii boli dopočítavané aj doplnkové údaje, konkrétne denné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie ( $\text{m.d}^{-1}$ ) a radiácie na zemskom povrchu ( $\text{KJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) (viac o aplikovanej metodike v prácach /18, 1, v rámci SR 7/;

- *fenologické údaje* z fenologických staníc v sieti SHMÚ; konkrétne priemerné termíny nástupu vybraných fenologických fáz analyzovaných poľnohospodárskych plodín stanovené za obdobie rokov 1989 - 2010;
- *pôdne údaje* - hydrofyzikálne vlastnosti a vybrané vlastnosti pôd relevantné z hľadiska charakteru a intenzity rastlinnej výroby v pravidelnom gride s rozlíšením 1x1 km, ktoré boli interpretované z údajov o profilových vlastnostiach 17741 pôdných sond a údajov o priestorovej distribúcii vybraných vlastností pôdy v mierke 1:5000 z Informačného systému o pôde v správe Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave /viac v práci 11 a 10/.

#### *Spracovanie údajov, ich analýza a interpretácia*

*Priestorová interpolácia klimatických a agroklimatických údajov* a priestorová reprezentácia interpolovaných údajov boli realizované v referenčnej gridovej sieti s priestorovým rozlíšením 10x10 km. Odvodené boli a) mesačné úhrny zrážok (za mesiace apríl – august v roku 2012) vyjadrené ako percento dlhodobého priemerného úhrnu zrážok za identické obdobie v rokoch 1975 – 1990, aplikovaná bola klasifikácia podľa Lapina /4/; b) priemerné mesačné teploty vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ) za obdobie apríl – september v roku 2012; c) rozdiely medzi priemernými mesačnými teplotami vzduchu a dlhodobými priemernými mesačnými teplotami vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ) za obdobie január – august v roku 2012, pričom priemer bol stanovený za obdobie 1975 – 1990, aplikovaná bola klasifikácia podľa Lapina /4/; d) mesačné úhrny potenciálnej evapotranspirácie vyjadrené v % dlhodobého mesačného priemeru (mm) za obdobie január – august 2012.

*Modelovanie vlhkostného stavu poľnohospodárskych pôd*, vrátane doplnkových indikátorov intenzity procesov v systéme pôda – rastlina - atmosféra s významným vplyvom na vlhkostný stav pôd, bolo realizované prostredníctvom referenčnej gridovej siete s priestorovým rozlíšením v 1x1 km. Odvodené boli nasledovné indexy: a) relatívna vlhkosť pôdy (%); b) objemová vlhkosť koreňovej zóny (%); c) celková (kumulatívna) potreba a celková (kumulatívna) spotreba vody sledovanou poľnohospodárskou plodinou (cm); d) zásoba vody (mm); e) deficit vody (mm); f) potrebná závlahová dávka v koreňovej zóne konkrétnych poľnohospodárskych plodín (mm).

*Modelovanie vývoja plodiny a tvorby produkcie poľnohospodárskych plodín* bolo realizované prostredníctvom referenčnej gridovej siete s priestorovým rozlíšením v 1x1 km. Odvodené boli vegetačné indexy: a) potenciálna a vodou limitovaná celková nadzemnej biomasy kukurice na zrno, b) potenciálna a vodou limitovaná produkcia sušiny v zásobných orgánoch kukurice na zrno a c) vzájomný pomer úrovne vodou limitovanej a potenciálnej nadzemnej biomasy a sušiny v zásobných orgánoch kukurice na zrno v termíne 20.7.2012, 20.8.2012 a 20.9.2012 (v %).

Pre *odhad úrod poľnohospodárskych plodín* kukurice na zrno (k 20.9.2012) boli použité časové rady dosiahnutých úrod za obdobie 1997 – 2012, klimatických a agroklimatických indikátorov za obdobie 1997 – 2012 – úhrnov zrážok (mm) a vodnej bilancie (t.j. rozdiel

medzi úhrnom potenciálnej evapotranspirácie a úhrnom atmosférických zrážok, mm) v období od 15. do 26. dekády v roku 2012. Aplikované boli štatistické metódy regresného radu. Jednoduchá kvantifikácia dopadu sucha na očakávanú úrodu pšenice ozimnej a spočívala vo vizuálnom porovnaní predpovedaných úrod a priemerných úrod týchto plodín na úrovni okresov za obdobie 1997 - 2012.

Výpočty boli realizované v databázovej aplikácii MS Office Access 2003. Pre priestorovú reprezentáciu (vizualizáciu) výstupov bolo využité prostredie ArcGIS 9.2. V príspevku je vizuálne prezentované len obmedzené množstvo vybraných výstupov.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### *Naměřené Analýza počasia a klimatické sucho v poľnohospodárskej sezóne 2012*

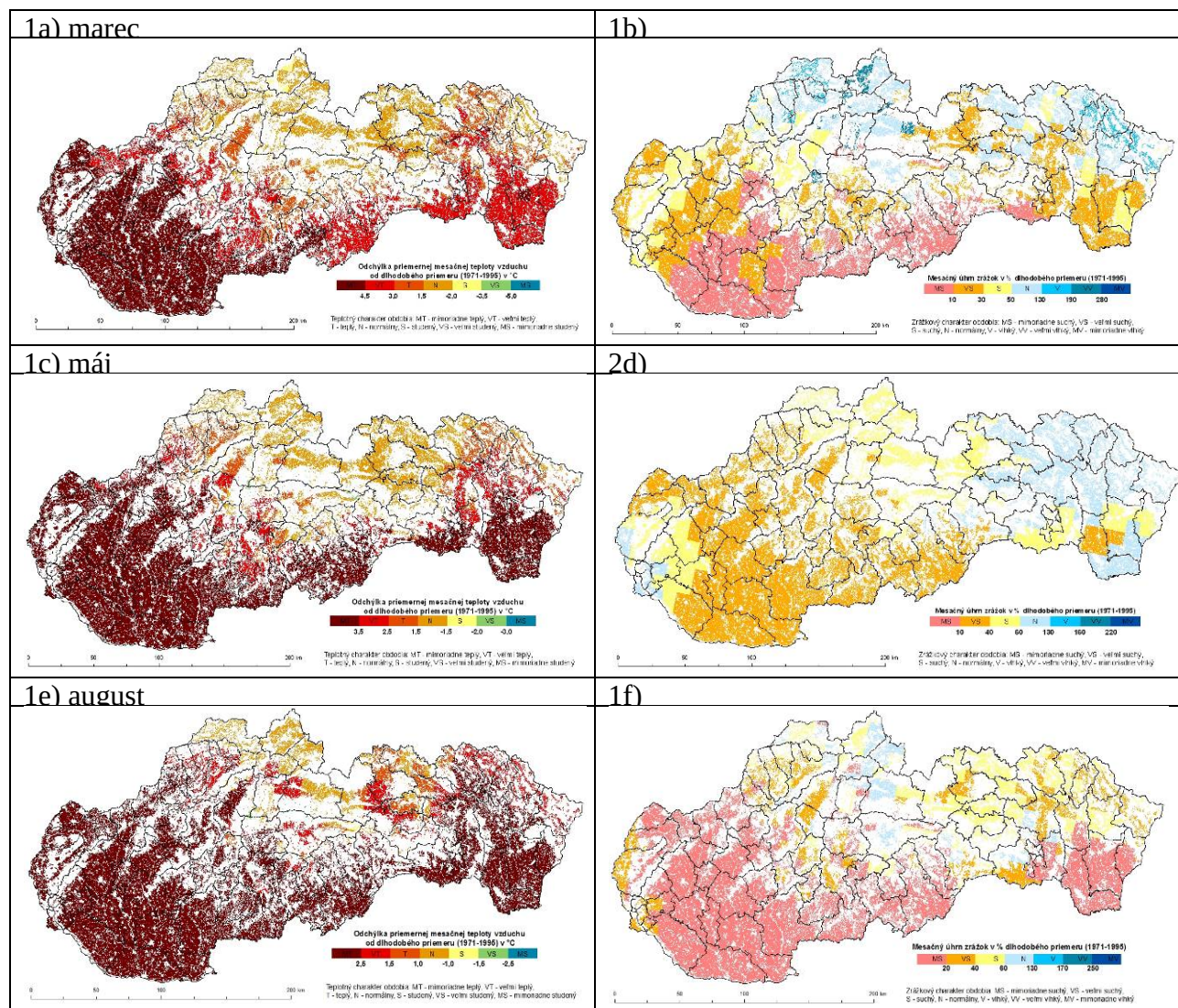
V období mesiacov január až august 2012 bol nízky úhrn zrážok v porovnaní s dlhodobým priemerom za konkrétny mesiac (obr. 1) zaznamenaný s výnimkou mesiaca júl prakticky vo všetkých mesiacoch analyzovaného obdobia, pričom v jednotlivých mesiacoch bola zaznamenaná výrazná priestorová variabilita tohto pomeru. Z hľadiska rastu a vývoja porastov kukurice na zrnó boli dôležité mesiace: a) máj, keď bol zaznamenaný nedostatok atmosférických zrážok na väčšine územia Slovenska (veľmi suchý mesiac) okrem východnej časti SR, b) jún, pričom v prvej polovici mesiaca boli atmosférické zrážky zaznamenané takmer každý deň (mali letný charakter), avšak ich množstvo nebolo veľmi výrazné a jún hodnotený ako normálny až suchý na väčšine územia, na krajnom juhozápade až veľmi suchý, c) august, keď takmer celé územie SR patrilo do kategórie mimoriadne suchého a veľmi suchého mesiaca, len lokálne na Orave a na Liptove bol mesiac zrážkovo normálny.

V období mesiacov január až august 2012 bola relatívne vysoká priemerná mesačná teplota v porovnaní s dlhodobým priemerom za konkrétny mesiac (obr. 1) zaznamenaná počas všetkých jarných mesiacov; marec, apríl aj máj boli teplotne nadpriemerné. Jún bol ako mesiac na väčšine územia Slovenska mimoriadne teplý, na juhovýchode a juhu stredného Slovenska bola priemerná mesačná teplota vzduchu vyššia o 5 °C a viac od dlhodobého priemeru, v južnej časti Záhorkej a Podunajskej nížiny až o 6 °C a viac. Júl bol jedným z najteplejších júlov od polovice 20. storočia, a to na celom území Slovenska; priemerná mesačná teplota vzduchu bola vyššia ako je dlhodobý priemer takmer na celom území Slovenska (na JZ a na J stredného a východného Slovenska sa odchýlka pohybovala od 5 do 6,5 °C). V auguste naďalej pretrvávali tropické teploty vzduchu; priestorová variabilita, ako aj hodnoty odchýliek priemernej mesačnej teploty vzduchu od dlhodobého priemeru boli takmer identické s júlovou priestorovou variabilitou.

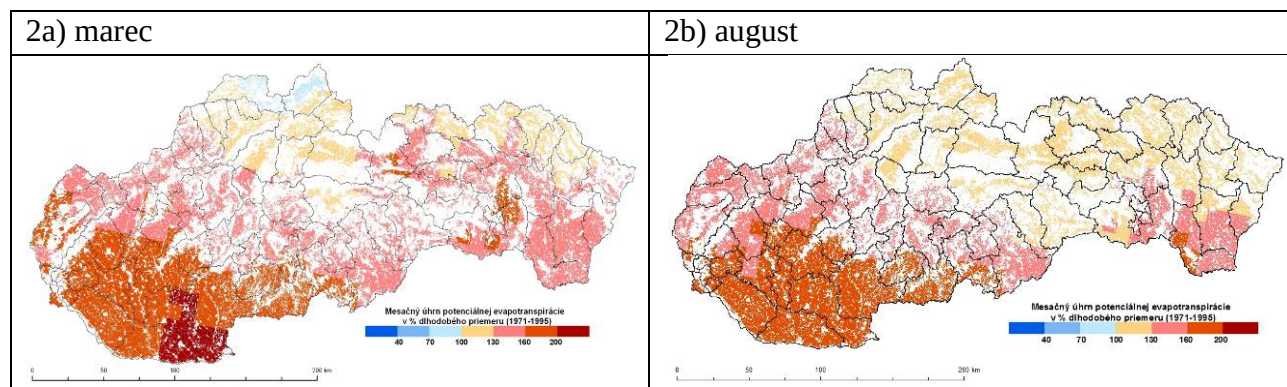
Nízke úhrny zrážok v kombinácii s teplým počasím už počas jarného obdobia podmienili vysokú potenciálnu (obr. 2), aj aktuálnu evapotranspiráciu a následne zvyšovanie deficitu vody v pôde. Ďalšia vlna vysokej evapotranspirácie bola zaznamenaná v druhej polovici júna (extrémne teplé počasie), ale aj v júli a počas augusta. Pretrvávajúce sucho vytvorilo výrazné stresujúce podmienky pre kukuricu na zrnó v jej dôležitých fenologických fázach takmer na celom území Slovenska.

### *Analýza vlhkostných pomerov pôdy a pôdne sucho v poľnohospodárskej sezóne 2012*

V tohtoročnej poľnohospodárskej sezóne vplyvom nízkeho úhrnu zrážok s vysokých teplôt vzduchu, resp. vplyvom vysokej potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácii postupne



Obr.1: Odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu od dlhodobého priemeru (1a, 1c, 1e; °C) a mesačný úhrn atmosférických zrážok vyjadrený v % dlhodobého mesačného priemeru (1b, 1d, 1f) v roku 2012.

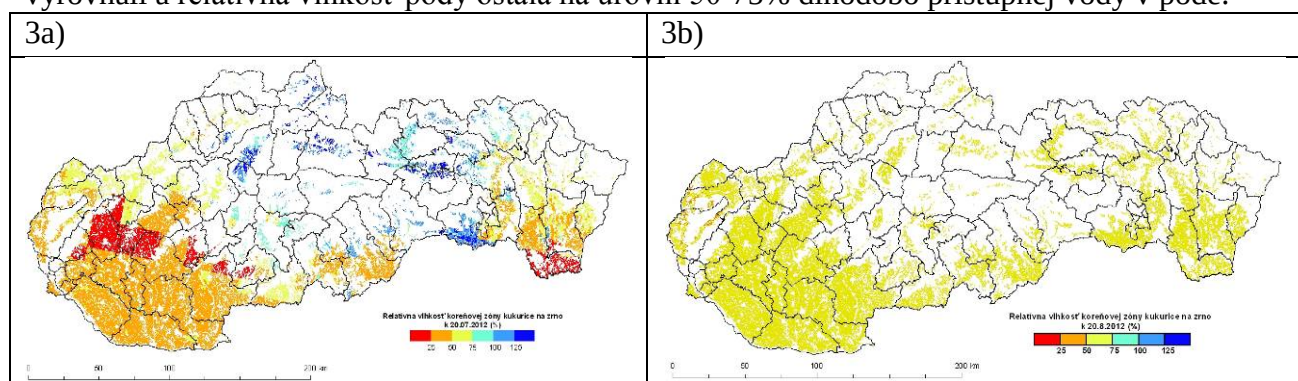


Obr.2: Mesačný úhrn potenciálnej evapotranspirácie vyjadrený v % dlhodobého mesačného priemeru v roku 2012.

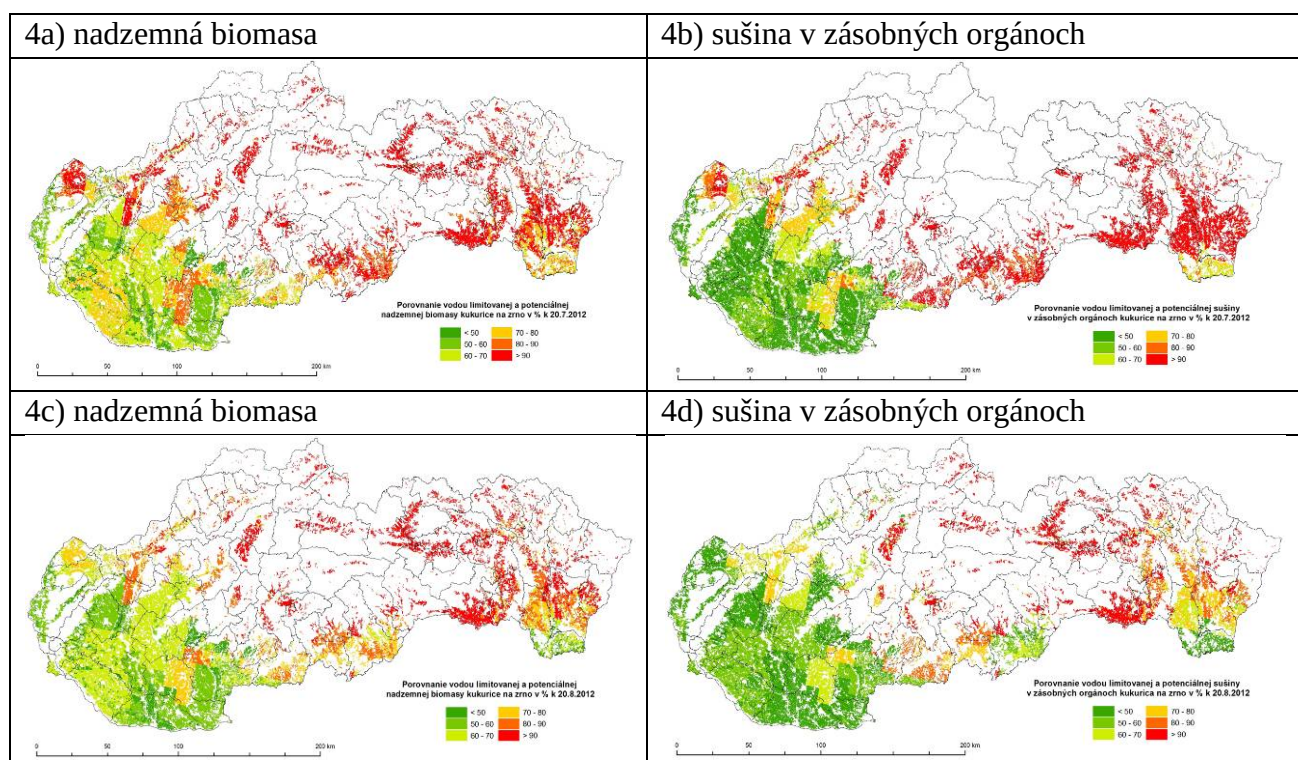
klesala relatívna vlhkosť pôdy a narastal deficit vody v pôde. V prípade porastov kukurice na zrno (obr. 3a, 3b), boli oblasti s najnižšou zaznamenanou relatívnou vlhkosťou pôdy (kategórie do 25 %, len lokálne, 25-50 % a 50-75 %) k termínu 20.7.2012 lokalizované



v najproduktnejších častiach SR – na Podunajskej nížine, v Juhoslovenskej kotline, v Košickej kotline a na juhu Východoslovenskej nížiny; v termíne k 20.8.2012 sa regionálne rozdiely v relatívnej vlhkosti pôdy na celom poľnohospodársky využívanom území SR vyrovnali a relatívna vlhkosť pôdy ostala na úrovni 50-75% dlhodobu prístupnej vody v pôde.



Obr.3: Relatívna vlhkosť pôdy (%) v koreňovej zóne kukurice na zrno k 20.7.2012 (3a) a k 20.8.2012 (3b)

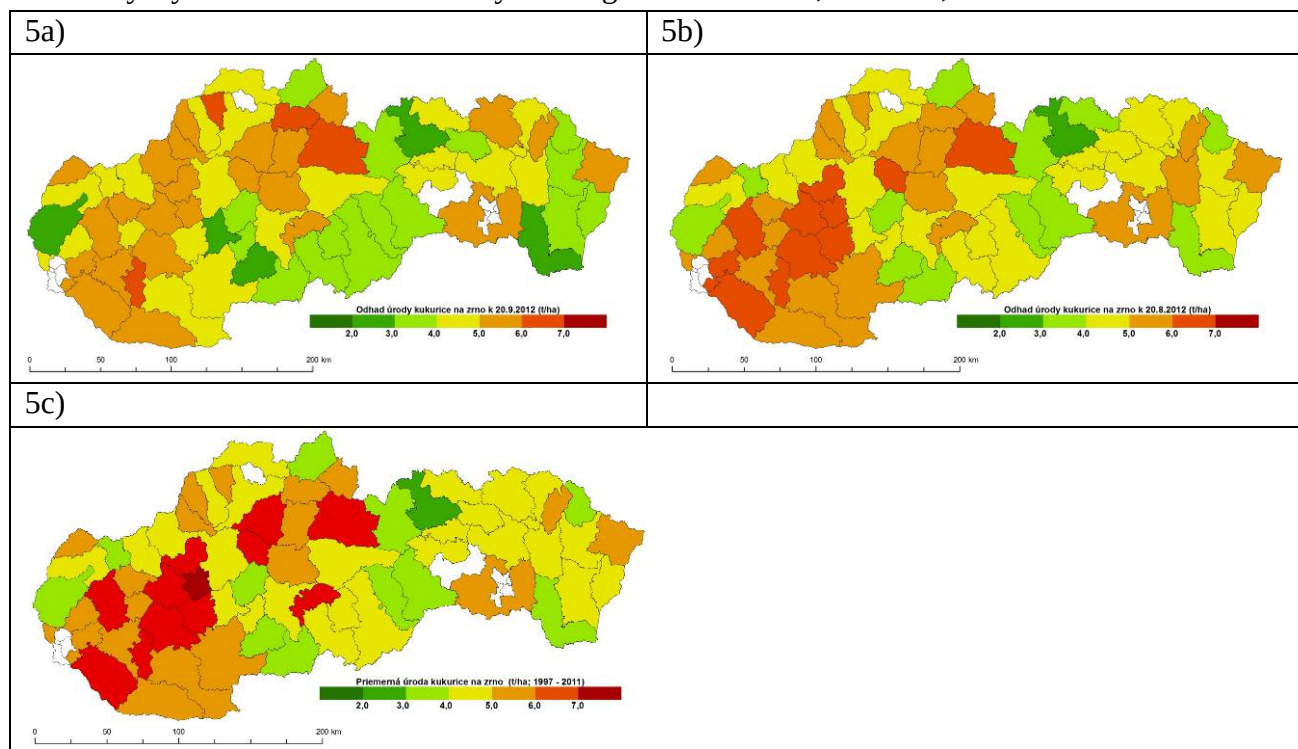


Obr.4: Produkcia nadzemnej biomasy a sušiny v zásobných orgánoch kukurice na zrno – podiel potenciálnej a vodou limitovanej produkcie v % k 20.7.2012 (4a, 4b) a k 20.8.2012 (4c, 4d).

#### Analýza rastu kukurice na zrno a fyziologické sucho v poľnohospodárskej sezóne 2012

V termínoch k 20.7.2012 a k 20.8.2012 bol zaznamenaný výrazný rozdiel medzi vodou limitovanou a potenciálnou produkciou ako nadzemnej biomasy, tak aj sušiny v zásobných orgánoch (obr. 4); zaznamenaná bola výrazná priestorová variabilita sledovaných indikátorov v rámci celého územia SR. Pri nadzemnej biomase v termíne k 20.7.2012 bol najvýraznejší rozdiel zaznamenaný predovšetkým v najproduktnejšej časti poľnohospodársky využívanom území SR – na Podunajskej nížine (kategórie do 50 %, 50-60 %, 60-70 %, 70-80 % a lokálne

aj 80-90 %); na ostatnom území bol rozdiel výrazne nižší. V prípade vegetačného indikátora sušiny v zásobných orgánoch bola zaznamenaná priestorová variabilita ešte výraznejšia - na Podunajskej nížine prevažovala kategória s hodnotami do 50 % a 50-60 %. V termíne k 20.8.2012 bola pri oboch sledovaných indikátoroch situácia podobná; rozdiely boli zaznamenané predovšetkým v rámci Juhoslovenskej kotliny a Východoslovenskej nížiny – v oboch prípadoch išlo o nárast rozdielu medzi vodou limitovanou a potenciálnou produkciou, a teda o výskyt území charakterizovaných kategóriami do 50 %, 50-60 %, 60-70 % a 70-80 %.



Obr. 5: Predpovedaná úroda kukurice na zrno k 20.9.2012 ( $t \cdot ha^{-1}$ ); indikátor vodná bilancia (5a) a indikátor zrážky (5b); priemerná úroda kukurice na zrno (5c) za obdobie 1997 - 2011.

Tab.1: Odhady úrody kukurice na zrno k 20.9.2012 (v  $t \cdot ha^{-1}$ ).

| región                     | úroda_pr<br>$t \cdot ha^{-1}$ | vodná bilancia                   |                   |               | zrážky                           |                   |              |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------|----------------------------------|-------------------|--------------|
|                            |                               | Odhad úrody<br>$t \cdot ha^{-1}$ | rozdiel           |               | Odhad úrody<br>$t \cdot ha^{-1}$ | rozdiel           |              |
|                            |                               |                                  | $t \cdot ha^{-1}$ | %             |                                  | $t \cdot ha^{-1}$ | %            |
| Bratislavský kraj          | 5,40                          | 4,49                             | -0,91             | -16,86        | 5,47                             | 0,06              | 1,19         |
| Trnavský kraj              | 6,09                          | 5,40                             | -0,70             | -11,42        | 6,02                             | -0,07             | -1,14        |
| Trenčiansky kraj           | 5,86                          | 4,98                             | -0,88             | -15,04        | 5,64                             | -0,22             | -3,78        |
| Nitriansky kraj            | 5,92                          | 5,05                             | -0,87             | -14,73        | 5,78                             | -0,14             | -2,39        |
| Žilinský kraj              | 5,72                          | 5,03                             | -0,69             | -12,04        | 5,05                             | -0,68             | -11,80       |
| Banskobystrický kraj       | 4,37                          | 3,57                             | -0,81             | -18,42        | 4,23                             | -0,15             | -3,38        |
| Prešovský kraj             | 4,65                          | 4,65                             | 0,00              | 0,06          | 4,58                             | -0,07             | -1,47        |
| Košický kraj               | 4,51                          | 3,93                             | -0,58             | -12,80        | 4,53                             | 0,03              | 0,59         |
| <b>Slovenská republika</b> | <b>5,67</b>                   | <b>4,71</b>                      | <b>-0,95</b>      | <b>-16,79</b> | <b>5,13</b>                      | <b>-0,54</b>      | <b>-9,53</b> |

*Jednoduchá kvantifikácia dopadu sucha na očakávané úrody poľnohospodárskych plodín*

V termíne k 20.9.2012 bola pri aplikovaní indikátora vodná bilancia predpovedaná úroda kukurice na zrno na úrovni  $4,71 \text{ t.ha}^{-1}$  čo v porovnaní s priemernou úrodou kukurice na zrno za obdobie rokov 1997 až 2011 predstavuje pokles o 16,79 %; pri aplikovaní indikátora zrážky úroda na úrovni  $5,13 \text{ t.ha}^{-1}$ , čo v porovnaní s priemernou úrodou kukurice na zrno za obdobie rokov 1997 až 2011 predstavuje pokles o 9,53 %. Na krajskej úrovni bola zaznamenaná priestorová variabilita odhadovaných úrod; pri oboch indikátoroch bola najvyššia úroda predpovedaná v Trnavskom kraji ( $5,40 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore vodná bilancia a  $6,02 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore zrážky) a najnižšia v Banskobystrickom kraji ( $3,57 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore vodná bilancia a  $4,23 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore zrážky). Na okresnej úrovni (obr. 5a, 5b, 5c) je priestorová variabilita predpovedaných úrod kukurice na zrno pri použití oboch indikátorov, ako aj priestorová variabilita priemerných úrod kukurice na zrno veľmi podobná; maximálne úrody pri indikátore vodná bilancia sú predpokladané v okresoch Šaľa ( $6,26 \text{ t.ha}^{-1}$ ; priemerná úroda  $6,49 \text{ t.ha}^{-1}$ ) a Dunajská Streda ( $6,26 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore vodná bilancia; priemerná úroda  $6,56 \text{ t.ha}^{-1}$ ); pri indikátore zrážky sú predpokladané v okresoch Bánovce nad Bebravou ( $6,26 \text{ t.ha}^{-1}$ ; priemerná úroda  $6,90 \text{ t.ha}^{-1}$ ), Partizánske ( $6,88 \text{ t.ha}^{-1}$ ; priemerná úroda  $6,88 \text{ t.ha}^{-1}$ ) a Topoľčany ( $6,61 \text{ t.ha}^{-1}$ ; priemerná úroda  $6,55 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Najnižšie úrody sú predpokladané v okresoch Kežmarok ( $2,17 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore vodná bilancia;  $2,27 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore zrážky; priemerná úroda  $2,28 \text{ t.ha}^{-1}$ ) a Krupina ( $2,32 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore vodná bilancia;  $3,11 \text{ t.ha}^{-1}$  pri indikátore zrážky; priemerná úroda  $3,64 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Celkovo bola najvyššia úroda zaznamenaná v rámci okresov Podunajskej nížiny.

Sucho v poľnohospodárskej krajine možno považovať za komplexný jav. Jeho výskyt a prejav v poľnohospodárskej krajine možno hodnotiť z viacerých hľadísk, a to ako meteorologické sucho, pôdne sucho alebo fyziologické sucho, pričom všetky ovplyvňujú produkčnú schopnosť a môžu mať dopad na dosiahnutú úrodu poľnohospodárskych plodín.

Národný systém agrometeorologického modelovania SK\_CGMS (s implementovaným modelom WOFOST), prostredníctvom ktorého bola analýza výskytu sucha v roku 2012 realizovaná, tak predstavuje efektívny nástroj pre výskum a manažment poľnohospodárskej krajiny ako v súčasnosti, tak aj v najbližšej budúcnosti.

## LITERATÚRA

- /1/ Goot, E. van der: Spatial interpolation of daily meteorological data for the Crop Growth Monitoring System (CGMS). In: M. Bindi, B. Gozzini (eds). Proceedings of seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology, 28 September – 3 October 1997, Volterra, Italy. EUR18472 EN, 1998
- /2/ Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: Crop Growth Modelling System [online]. European Communities, c1995-2012 [cit. 2012-01-10]. Dostupné na internete: <<http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/About-us/AGRI4CAST/Models-Software-Tools/Crop-Growth-Modelling-System-CGMS>>
- /3/ Kostrej, A., Danko, J., Gáborčík, N., Jureková, Z., Kubová, A., Repka, J., Švihra, J., Zima, M.: Fyziológia porastu poľných plodín. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 1992: 135 s.
- /4/ Lapin, M., Faško, P., Kveták, Š.: Klimatické normály. Metodický predpis 3-09-1/1. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 1988: 6. s.
- /5/ Lazar, C., Genovese, G.: Methodology of the MARS crop yield forecasting system. Vol. 2: Agrometeorological data collection. processing and analysis. The Office for Official Publications of European Communities, Luxembourg, 2004: 98 pp.

- /6/ Majerčák, J.: Matematický model a indexy sucha. In Sobocká, J. (ed.): Štvrté pôdoznalecké dni na Slovensku. (Zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR), Bratislava: Výskumný ústav pôdoznalstva a ochrany pôdy, 2005: 207 – 213.
- /7/ Nováková, M.: Interpolácia meteorologických údajov pre potreby monitoringu stavu, vývoja a odhadu úrod poľnohospodárskych plodín. Vedecké práce, VÚPOP Bratislava, 29, 2007: 93 – 103
- /8/ Nováková, M.: Identifikácia regiónov s výskytom sucha v podmienkach poľnohospodársky využívaného územia SR. In: BLÁHA, L. (ed.) *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2009*. Praha : VÚRV, 2009: 254-260
- /9/ Nováková, M., Klikušovská, Z., Skalský, R., Takáč, J., Tarasovičová, Z.: Integrácia metód priestorového modelovania pre potreby identifikácie regiónov s výskytom sucha na Slovensku. In Čelková, A. (ed), *17th International Poster Day. Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy- Atmosphere*, Bratislava: ÚH SAV, 2009: 447-458.
- /10/ Nováková, M., Klikušovská, Z., Skalský, R., Sviček, M., Misková, M., Čičová, T.: Národný systém pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín SK \_CGMS. Bratislava : VÚPOP, 2010: 32 s.
- /11/ Nováková, M., Skalský, R.: Agrometeorologické modelovanie – alternatívny spôsob monitorovania stavu a vývoja biomasy. In Rožnovský, J., Litschmann, T.(ed.), *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů krajiny*. Mikulov 9. – 11.9.2008, Praha : Český hydrometeorologický ústav pre Českú bioklimatologickú spoločnosť, Dostupné na internete: <http://www.cbks.cz/Mikulov08b/index.htm>, stránka navštívená 19. decembra 2008
- /12/ Petr, J., Baier, J., Bureš, R., Coufal, V., a iní: *Počasí a výnosy*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1987: 365 s.
- /13/ Supit, I., Hooijer, A.A., Van Diepen, C.A.: System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms. EUR Publication N° 15959 EN of the Office for Official Publications of the EC. Luxembourg, 1994: 146 pp.
- /14/ Supit, I., van der Goot, E.: Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model as implemented in the crop growth monitoring system applied by European Commission. In Treebook 7, Heelsum : Treemail Publishers, 2003: 122 s
- /15/ Špánik, F., Antal, J., Tomlain, J., Škvarenina, J., Repa, Š., Šiška, B., Mališ, J.: *Aplikovaná agrometeorológia*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2000: 194 s.
- /16/ Šútor, J., Štekauerová, V.: Prognóza pôdneho sucha. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině*. (Zborník príspevkov z konferencie). Mikulov 9. – 11.9.2008, Praha : Český hydrometeorologický ústav pre Českú bioklimatologickú spoločnosť, Dostupné na internete: <http://www.cbks.cz/Mikulov08b/index.htm>, stránka navštívená 19. decembra 2008
- /17/ Šútor, J., Rehák, Š.: Evaluation of disposable water supply in soil for biosphere in the area of Žitný ostrov. Scientific Papers of the Research Institute of Irrigation, No 24, Bratislava, 1999: 173 – 187
- /18/ Voet, P. Van der, Diepen, C.A. van, Oude Voshaar, J.: Spatial interpolation of meteorological data. A knowledge based procedure for the region of the European Communities. SC-DLO, Report 53.3, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, 1994: 35 pp



## **ZMENY OBVODOV KMEŇOV PROVENIENCIÍ SMREKA POD VPLYVOM PÔDNEHO A ATMOSFÉRICKEHO SUCHA**

### ***CHANGES OF NORWAY SPRUCE PROVENANCES STEMS CIRCUMFERENCE UNDER SOIL AND ATMOSPHERIC DROUGHT***

Alena Pástorová, Adriana Leštianska, Katarína Střelcová

Technická univerzita vo Zvolene, LF, katedra prírodného prostredia, Ul. T. G. Masaryka 24, 960 53  
Zvolen, alenka.pastorova@gmail.com

#### ***Summary***

Diurnal and seasonal changes of stem circumference and increment were observed on three 35 years old provenances of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) originated of different altitudes from Volovské vrchy mountains. Growing season 2012 was in terms of air temperature extremely abnormal and precipitation was considerably different in each month. The highest stem increment was recorded after precipitation in July. The most important influence on stem increment of all provenances has precipitation and soil water potential.

*Key words: stem circumference changes, precipitation, soil water potential, Norway spruce, provenances*

#### ***Súhrn***

Denné a sezónne zmeny obvodov kmeňov a prírastky boli merané na troch provenienciách 35 ročných stromov smreka obyčajného pochádzajúcich z rôznych nadmorských výšok z pohoria Volovské vrchy. Vegetačné obdobie 2012 bolo teplotne mimoriadne nadnormálne a výrazne diferencované najmä z hľadiska zrážkových úhrnov. Najvyšší prírastok obvodu kmeňa sme zaznamenali po zrážkových udalostiach v mesiaci júl. Najvýznamnejší vplyv na prírastok, resp. zmršťovanie kmeňa pri všetkých provenienciách majú zrážky a vodný potenciál pôdy.

*Kľúčové slová: prírastok kmeňa, úhrn zrážok, vodný potenciál pôdy, smrek obyčajný, proveniencie*

## **ÚVOD**

Intenzita rastu a veľkosť hrúbkového prírastku závisí od kombinácie rastového potenciálu stromu a vonkajších faktorov obmedzujúcich, príp. podporujúcich rast. Ako uvádzajú /7/ a /8/, ich aktivita súvisí so základnými fyziologickými procesmi stromov a taktiež je ovplyvňovaný klimatickými zmenami a zmenami počasia /5/. Denné zmeny v priemere kmeňa sú spojené predovšetkým so zmenami zapríčinených sezónnym rastom a z variácií spôsobených zmenami vodnej bilancie pletív /3/, /10/. Keďže výstupný signál dendrometrov v sebe zahŕňa mix rôznych fyziologických reakcií (rast a vodná bilancia kmeňov), reprezentuje tak komplexné informácie o sezónnych zmenách prostredia. Monitorovanie variácií obvodu a hrúbky kmeňa /1/ je dôležité pre poznávanie ako a kedy stromy produkujú jednotlivé sezónne komponenty hmoty a ako reagujú na environmentálny stres /2/.

Analýzy dendrometrických údajov umožňujú nielen poznanie denných chodov stenčenia a prírastania kmeňa, ale aj sledovanie suchých a vlhkých periód trvajúcich od

niekoľko dní po niekoľko týždňov /11/. Podľa /7/ je vodný stres najbežnejším faktorom limitujúcim rast vegetácie.

Cieľom predkladanej štúdie je zhodnotenie vplyvu parametrov atmosférického prostredia a pôdneho prostredia na dynamiku zmien na obvode kmeňa počas vegetačného obdobia roku 2012 a sledovanie rozdielov v zmenách obvodu kmeňa medzi provenienciami smreka obyčajného, pôvodom z rôznych nadmorských výšok.

## MATERIÁL A METÓDY

Skúmanie variability rastových procesov v rámci odlišných proveniencií smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst) je realizované na 3 výskumných plochách nachádzajúcich sa v Arboréte Borová hora. Každá z výskumných plôch reprezentuje inú provenienciu. Výskumné plochy sa nachádzajú v nadmorskej výške 350 m n. m., v 2. lvs (bukovo-dubovom), na svahu so severozápadnou expozíciou a sklonom 5-10%. Geologické podložie tvorí andezitový tuf a travertíny, hlavným pôdotvorným substrátom sú pararendziny, kampizeme a fluvizeme. Z každej proveniencie bolo vybraných 6 jedincov. Proveniencie sú z rôznych nadmorských výšok jedného orografického celku Volovské vrchy vo veku 35 rokov: 1. proveniencia (500 m n. m.), 2. proveniencia (750 m n. m.), 3. proveniencia (1100 m n. m.).

Vo vegetačnom období roku 2012 boli s použitím dendrometrov DRL 26 s automatizovaným ukladáním dát do zabudovaného datalogera zaznamenávané zmeny obvodu kmeňa. Zároveň boli neďaleko výskumných plôch merané meteorologické prvky (globálna radiácia [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ], teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ], relatívna vlhkosť vzduchu [%], zrážky [mm]) a teploty pôdy [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Pre porovnanie zistených klimatických charakteristík s dlhodobým priemerom pre našu meteorologickú stanicu Arborétum Borová hora sme využili obdobie rokov 1961-90.

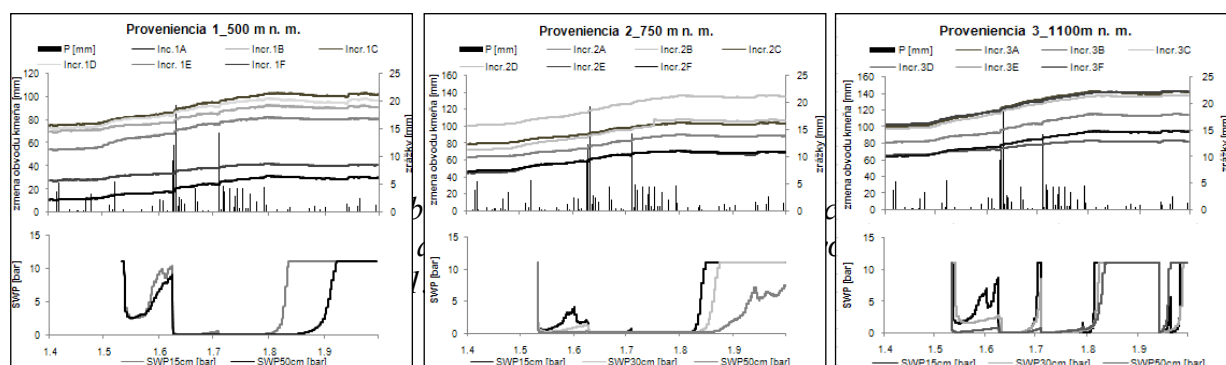
Charakteristika dostupnosti pôdnej vody, tj. pôdny vodný potenciál [bar] bol meraný v troch hĺbkach 15 cm, 30 cm a 50 cm. Na meranie pôdneho vodného potenciálu bol použitý MicroLog SP so sadrovými bločkami výrobcu EMS Brno s automatizovaným ukladáním dát.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Po klimatickej stránke bolo vegetačné obdobie 2012 teplotne mimoriadne nadnormálne a výrazne diferencované najmä z hľadiska zrážkových úhrnov (graf 2). Priemerná teplota vzduchu za sledované obdobie bola  $17^{\circ}\text{C}$ . Zaujímavé sú prvé tri dni v mesiaci júl, kedy priemerná denná teplota vzduchu dosiela viac ako  $27^{\circ}\text{C}$ . Takéto mimoriadne suché a teplé vegetačné obdobie malo veľmi nepriaznivý vplyv nielen na hrúbkový prírastok smreka obyčajného. Po zrážkovo normálnom apríli, nasledoval zrážkovo mimoriadne suchý máj a normálny jún. Po zrážkovo silne nadnormálnom júli nasledoval mimoriadne podnormálny august a normálny september. Úhrn zrážok za vegetačné obdobie 2012 dosiahol 312 mm.

S nástupom zvyšujúcej sa priemernej dennej teploty v apríli začal prírastok u všetkých proveniencií a vzorníkov okolo 27.4. V dôsledku mimoriadne teplého a mimoriadne suchého počasia začal od 5.8. klesať, až do 13.9. kedy spadlo 11,8 mm zrážok, na ktoré zareagoval aj hrúbkový prírastok a začal znovu stúpať. Ako vyplýva z našich meraní, najvyšší prírastok obvodu kmeňa sme zaznamenali po zrážkových udalostiach v mesiaci júl. Najvýznamnejší vplyv na prírastok, resp. zmršťovanie kmeňa majú zrážky a vodný potenciál pôdy. Vzťah veľkosti prírastku, resp. zmršťovania, meteorologických a pôdnych charakteristík sme testovali pomocou Spearmanovho poradového korelačného koeficientu vyjadrujúceho existenciu a silu závislosti (tab. 1). Pri testovaných prvkoch zrážky a pôdny potenciál sa prejavila veľmi tesná závislosť pri všetkých provenienciách. Je známe, že zmeny obvodu

kmeňa nie sú len výsledkom tvorby xylémových pletív, ale sú často zapríčinené vodnou bilanciou dreviny /6/, /4/. Je vidieť, že nárast obvodu kmeňa nastal vždy po zrážkach a naopak v bezzrážkovom období sa obvod kmeňov začal zmršťovať, teda fluktuácia priebehu hodnôt obvodu kmeňa je dôsledkom zmeny obsahu vody v pletivách a len z veľmi malej časti možno samotným rastom stromu. Preto predpokladáme, že úhrn zrážok spôsobil aktuálne napučíavanie kmeňa.



Graf 1: Dynamika zmien obvodu kmeňa troch proveniencií smreka obyčajného počas vegetačného obdobia 2012 a priebeh zrážok (P [mm]) a vodného potenciálu pôdy (SWP [bar]) meraného v hĺbkach 15 cm, 30 cm a 50 cm

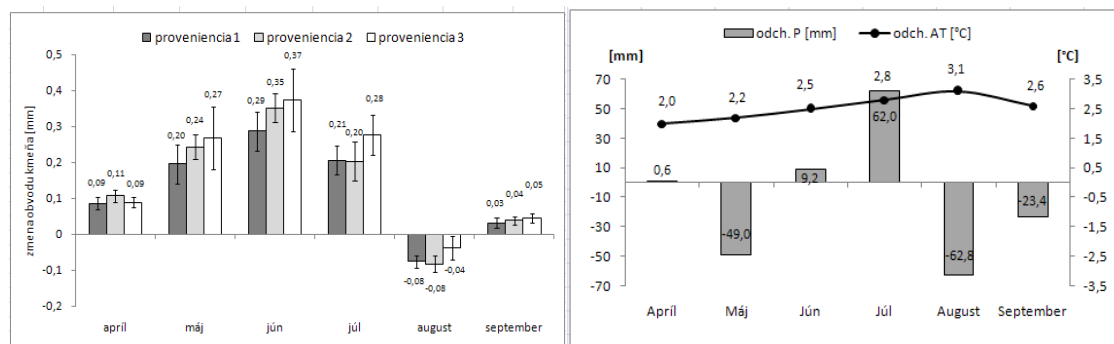
Tab. 1: Korelačná analýza závislosti veľkosti zmeny na obvode kmeňa (prírastok, resp. zmršťovanie) od teploty vzduchu (TV), globálnej radiácie (GR), zrážok (Z) a vodného potenciálu pôdy (SWP); Spearmanov  $R_{yx}$  – Spearmanov poradový korelačný koeficient,  $t$  –  $t$ -hodnota, úroveň  $p$  – korelácie významné na hladine  $p < 0,05^*$ ,  $p < 0,01^{**}$ ,  $p < 0,001^{***}$

| Závislá                                                     | Nezávislá                 | Proveniencia | Počet | Spearmanov | $t$ (n-2)        | úroveň p  |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|-------|------------|------------------|-----------|
| veľkosť zmeny na obvode kmeňa (prírastok resp. zmršťovanie) | TV [°C]                   | 1            | 183   | -0,14      | -1,95            | 0,05      |
|                                                             |                           | 2            | 183   | -0,12      | -1,69            | 0,09      |
|                                                             |                           | 3            | 183   | 0,02       | 0,24             | 0,81      |
|                                                             | GR [kWh.m <sup>-2</sup> ] | 1            | 183   | -0,24      | <b>-3,30**</b>   | 0,001     |
|                                                             |                           | 2            | 183   | -0,14      | -1,94            | 0,05      |
|                                                             |                           | 3            | 183   | -0,03      | -0,46            | 0,65      |
|                                                             | Z [mm]                    | 1            | 182   | 0,59       | <b>9,79***</b>   | 0,0000... |
|                                                             |                           | 2            | 182   | 0,52       | <b>8,15***</b>   | 0,0000... |
|                                                             |                           | 3            | 182   | 0,50       | <b>7,74***</b>   | 0,0000... |
|                                                             | SWP <sub>15</sub> [bar]   | 1            | 139   | -0,42      | <b>-5,49***</b>  | 0,0000... |
|                                                             |                           | 2            | 139   | -0,30      | <b>-3,74***</b>  | 0,0003    |
|                                                             |                           | 3            | 139   | -0,68      | <b>-10,78***</b> | 0,0000... |
|                                                             | SWP <sub>30</sub> [bar]   | 1            | x     | x          | x                | x         |
|                                                             |                           | 2            | 139   | -0,22      | <b>-2,61**</b>   | 0,01      |
|                                                             |                           | 3            | 139   | -0,64      | <b>-9,68***</b>  | 0,0000... |
|                                                             | SWP <sub>50</sub> [bar]   | 1            | 139   | -0,07      | -0,78            | 0,436     |
|                                                             |                           | 2            | 139   | -0,18      | <b>-2,12*</b>    | 0,04      |
|                                                             |                           | 3            | 139   | -0,73      | <b>-12,62***</b> | 0,0000... |

Vplyv zhoršenej dostupnosti pôdnej vody sa výrazne prejavil v auguste, kedy úhrn zrážok dosiahol len 0,3% z dlhodobého priemeru, ktoré sa odzrkadlili v poklese hodnôt pôdneho vodného potenciálu najmä v hĺbkach 30 a 50 cm v mesiaci september. V porovnaní s rokmi 2010 a 2011 bol celkový hrúbkový prírastok takmer o polovicu menší /4/.

Na základe grafického znázornenia rozdielu medzi provenienciami smreka pomocou chybových úsečiek vyjadrujúcich 95%-né intervaly spoľahlivosti sme nezistili štatisticky významný rozdiel v zmenách obvodu kmeňa (graf 1). Podstatne väčšie rozdiely v zmenách

obvodu kmeňa sa prejavili medzi mesiacmi v rámci sledovaného vegetačného obdobia, ktoré boli klimaticky a najmä vlhkostne výrazne odlišné. Extrémne suché obdobie v mesiaci august spôsobilo výrazný pokles veľkosti obvodu kmeňa, zmršťovanie kmeňov.



Graf 2: Zmeny veľkosti obvodu kmeňa (prírastok, resp. zmršťovanie) merané na jedincoch rôznych proveniencií smreka obyčajného vo vegetačnom období 2012

Graf 3: Odchýlky mesačných úhrnov zrážok a teploty vzduchu vo vegetačnom období roku 2012 od dlhodobých priemerov 1961–1990

## LITERATÚRA

- /1/ Deslauriers, A., Rossi, S., Anfodillo T.: Dendrometer and intra/annual tree growth: What kind of information can be inferred? *Dendrochronologia*, 25, 2007: 113–124
- /2/ Downes, G.M., Wimmer, R., Evans, R.: Understanding wood formation: gains to commercial forestry through tree-ring research. *Dendrochronologia*, 20, 2002: 37–51
- /3/ Herzog, K. M., Häsler, R., Thum, R.: Diurnal changes in the radius of a subalpine Norway spruce stem: their relation to the sap flow and their use to estimate transpiration. *Trees* 10, 1995: 94–101
- /4/ Ježík, M., Blaženec, M., Střelcová, K., 2007: Interseasonal stem circumference oscillation: their connection to weather course. In: Střelcová, K., Škvarenina, J., Blaženec, M., (eds): Bioklimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17.–20. september 2007, ISBN 978-80-228-17-60-8
- /5/ Ježík, M., Blaženec M., Střelcová K., Kurjak D., Ditmarová L., 2011: Sezónna dynamika transpirácie, rastových procesov a zmien obvodu kmeňov smreka v rastových fázach žrdoviny a kmeňoviny v podmienkach zavlažovacieho pokusu. In: Střelcová, K., Sitková, Z., Kurjak, D., Kmeť, J. (eds.): Stres suchom a lesné porasty. Aktuálny stav a výsledky výskumu. Technická univerzita vo Zvolene, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, Ústav ekológie lesa SAV vo Zvolene, Zvolen, 2011: 266 s.
- /6/ Korpela, M., Mäkinen, H., Nöjd, P., Hollmén, J., Sulkava, M.: Automatic detection of onset and cessation of tree stem radius increase using dendrometer data. *Neurocomputing*, 73, 2010: 2039–2046
- /7/ Kozłowski, T. T., Kramer, P. J., Pallardy, G.S.: The physiological Ecology of Woody Plants. New York: Academic Press, 1991: 657 s.
- /8/ Larcher, W.: Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt, UTB, Stuttgart, 2001: 408 s.
- /9/ Pástorová, A., Leštianska, A., Střelcová, K., Kriššák, V.: Prírastok na obode kmeňov vybraných proveniencií smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst) počas vlhkostne kontrastných rokov 2010 a 2011: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2012 (zborník z konferencie), 2012: 172-175
- /10/ Zweifel, R., Häsler, R.: Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature, subalpine conifers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 2001: 213–222
- /11/ Zweifel, R., Zimmermann, L., Newbery, D. M.: Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. *Tree Physiology*, 25, 2005: 147–156

## PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0111-10, APVV-0436-10 a APVV-0423-10.

## **VLHKOST PŮDY POD MULČOVANÝMI A SEČENÝMI EXTENZIVNÍMI TRÁVNÍKY**

### ***SOIL MOISTURE IN MOWED AND MULCHED LOW-INPUT TURFS***

Josef Raus, Martin Sochorec, Pavel Knot

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav výživy zvířat a pícninářství, Zemědělská  
1/1665, 613 00, Brno, josef.raus@mendelu.cz

#### ***Summary***

Effect of mowing and mulching of non-fertilized red fescue and grass-clover turfs on soil moisture was observed in 2012. Experimental plots were established in 2006 in Vatín. Soil moisture was measured at the depth of 10 and 20 cm in weekly intervals using profile probe PR2. There were highly significant effects ( $P<0,01$ ) of harvest method (mowing x mulching) as well as sward type (red fescue x grass-clover) on soil moisture at the depth of 10 cm observed in average of 10 consecutive measuring (19<sup>th</sup> June – 21<sup>st</sup> August). In every term and soil depth the highest moisture was in mowed red fescue and the lowest in mulched grass-clover. Mowed turfs of one type had always higher soil moisture than mulched ones.

*Key words: soil moisture, low-input turf, red fescue, grass-clover mixture, mulching*

#### ***Souhrn***

V roce 2012 byl u nehnějených travníků z kostřavy červené a jetelotravní směsi sledován vliv mulčování a sečení s odstraněním biomasy na vlhkost půdy v hloubce 10 a 20 cm. Pokusná plocha byla založena v roce 2006 na Výzkumné pícninářské stanici ve Vatíně, okres Žďár nad Sázavou. Vlhkost půdy byla měřena v týdenních intervalech profilovou sondou PR2. V průměru deseti termínů měření od 19. 6. 2012 do 21. 8. 2012 byl zjištěn vysoce průkazný vliv ( $P<0,01$ ) způsobu sklizně i druhu porostu na vlhkost půdy v hloubce 10 cm. Ve všech termínech a v obou hloubkách byla nejvlhčí variantou kostřava sečená, naopak nejsušší jetelotravní směs mulčovaná. U obou druhů porostu byla vyšší vlhkost půdy naměřena u sečené varianty a to v obou měřených hloubkách.

*Klíčová slova: vlhkost půdy, extenzivní trávník, kostřava červená, jetelotravní směs, mulčování*

## **ÚVOD**

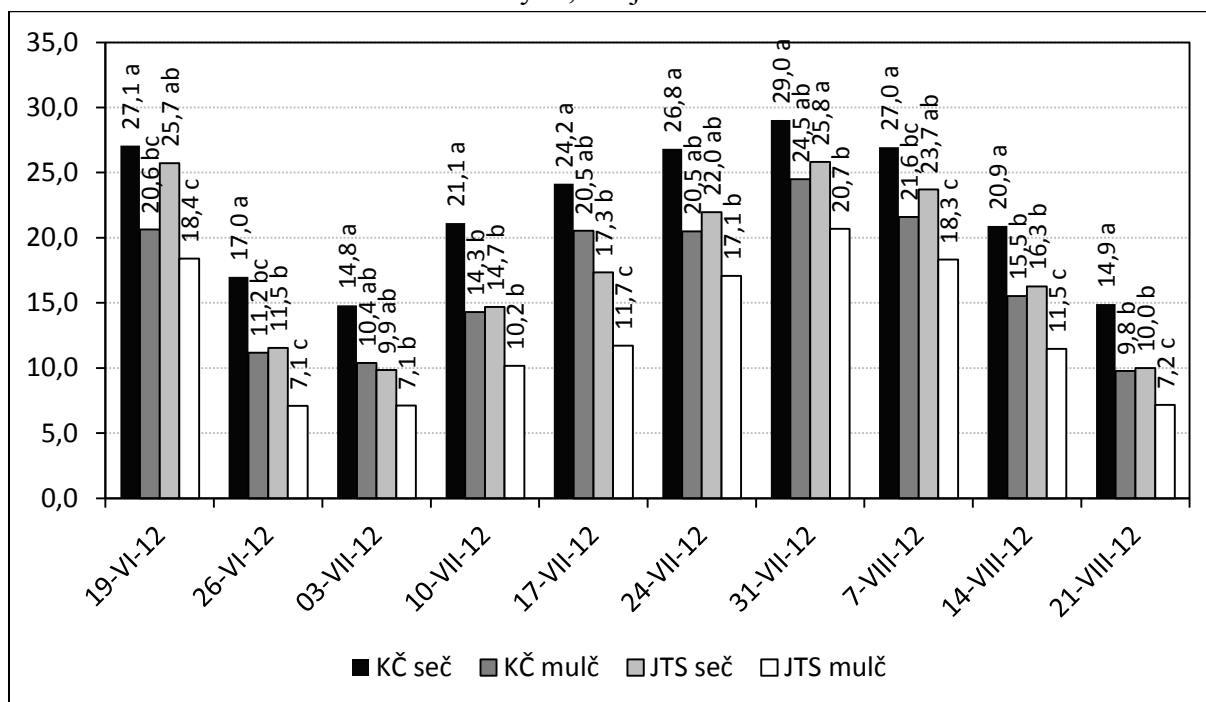
Příspěvek se zabývá vlivem sklizně (seč s odklizením biomasy/mulčování) a druhu porostu na vlhkost půdy pod extenzivním trávníkem. Mulčování je alternativou k tradičnímu ošetřování travních porostů. Mulčováním lze dosáhnout minimalizace nákladů na transport a uložení biomasy a hnojení při současném zachování ekologických funkcí travních porostů. Otázky vlivu mulčování a sečení na vlastnosti extenzivních travníků byly řešeny na Ústavu výživy zvířat a pícninářství MENDELU v letech 2006-2010. Bylo zjištěno, že mulčované travníky po seči rychleji obrůstají než porosty s exportem biomasy, což se projevilo u všech úrovní dusíkatého hnojení a druhu porostu /1, 3/. Rovněž byl patrný kladný vliv mulčování na celkovou hmotnost kořenů. Mulčování též zvýšilo odolnost trávníku vůči houbovým chorobám např. sněžné plísňovitosti či červené nitkovitosti trav /2/.

## MATERIÁL A METODA

Pokus kombinující faktory úrovně a formy dusíkatého hnojení, druhu porostu a způsobu sklizně trávníků byl založen ve třech opakováních v roce 2006 na Výzkumné pícninářské stanici ve Vatíně (535 m n. m., průměrná roční teplota 6,3°C, průměrný roční úhrn srážek 737 mm). V roce 2012 byly ve vybraných variantách nainstalovány přístupové šachty pro profilové sondy PR2 (výrobce Delta-T Devices Ltd.) a započalo měření vlhkosti půdy v týdenních intervalech. Zde jsou prezentovány naměřené hodnoty z hloubek 10 a 20 cm z deseti po sobě jdoucích měření 19. 6. – 21. 8. 2012 u nehnojených porostů kostřavy červené (KČ) a jetelotravní směsi (JTS) ve variantě sečené s exportem biomasy (seč) a mulčované (mulč). Vliv způsobu sklizně a druhu porostu na vlhkost půdy byl hodnocen vícefaktorovou analýzou rozptylu a Tukeyovým testem ( $\alpha = 0,05$ ) v programu STATISTICA (StatSoft ČR s. r. o.).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

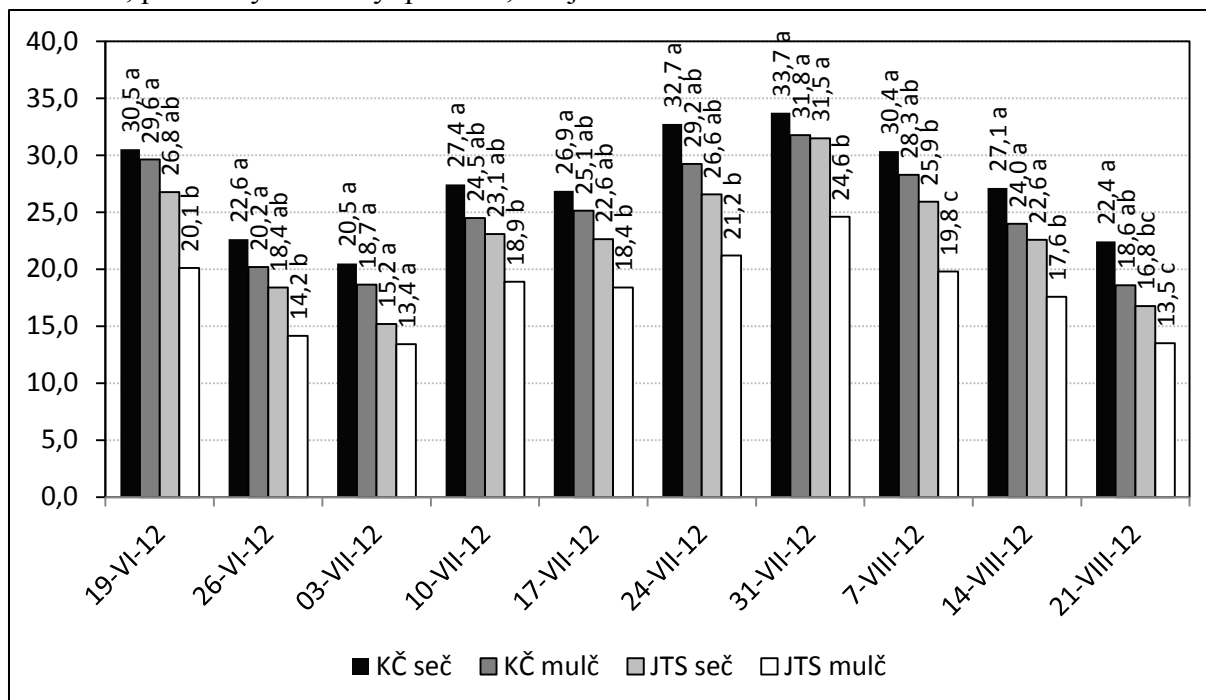
Graf 1 zobrazuje vlhkost půdy v 10 cm v jednotlivých termínech. Z dat vyplývá, že ve všech termínech byla nejvlhčí variantou kostřava sečená a nejsušší jetelotravní směs mulčovaná. Rozdíl činil až 12,4 obj. %, průměrně 9,4 obj. %. U obou druhů porostu byla vyšší vlhkost půdy naměřena v sečené variantě. V šesti termínech byl zjištěn průkazný rozdíl ( $P < 0,05$ ) mezi sečenou a mulčovanou variantou kostřavy, přičemž průměrný rozdíl byl 5,4 obj. %. U jetelotravní byl průkazný rozdíl zjištěn rovněž v šesti termínech, průměrný rozdíl mezi sečenou a mulčovanou variantou byl 4,8 obj. %.



Graf 1: Momentní vlhkost půdy (% obj.) v hloubce 10 cm. Rozdílná písmena u hodnot vlhkosti znamenají průkazný rozdíl mezi variantami v jednom termínu (Tukeyův HSD test,  $\alpha = 0,05$ ).

Rovněž v hloubce 20 cm byla nejvyšší vlhkost pravidelně naměřena u kostřavy sečené a nejnižší u jetelotravní směsi mulčované; rozdíl činil průměrně 9,3 obj. %. I zde byly vyšší

hodnoty vlhkosti zjištěny u sečené varianty téhož druhu, hodnoty zde však byly vyrovnanější. Zejména u kostřavy, kde nebyl zjištěn žádný průkazný rozdíl mezi mulčovanou a sečenou variantou, průměrný rozdíl byl pouze 2,4 obj. %.



Graf 2: Momentní vlhkost půdy (% obj.) v hloubce 20 cm. Rozdílná písmena u hodnot vlhkosti znamenají průkazný rozdíl mezi variantami v jednom termínu (Tukeyův HSD test,  $\alpha = 0,05$ ).

V průměru všech deseti termínů měření (Tab. 1 a 2) byl prokázán vysoce průkazný vliv ( $P < 0,01$ ) způsobu sklizně i druhu porostu na vlhkost půdy v hloubce 10 cm. V hloubce 20 cm byl vliv způsobu sklizně průkazný a vliv druhu porostu vysoce průkazný. Nižší vlhkost půdy pod mulčovanými trávnickými porosty pravděpodobně souvisí s vyšším odběrem vody rostlinami v důsledku rychlejšího růstu, který popisuje [3]. Ten může být podporován vyšším obsahem živin pocházejících z rozkládaného mulče. Rovněž v [4] je konstatováno, že pokud není vliv managementu zastřen vysokými srážkami, je nejvlhčí variantou porost s nejnižší produkcí biomasy.

Tab.1: Analýza rozptylu objemové vlhkosti půdy v hloubce 10 cm, průměr všech termínů měření (porost: KČ x JTS, sklizeň: mulč x seč)

| 10 cm                 | SČ            | PČ            | F               | p             |
|-----------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| <b>Abs. člen</b>      | <b>3652,1</b> | <b>3652,1</b> | <b>1239,576</b> | <b>0,0000</b> |
| <b>porost</b>         | <b>55,0</b>   | <b>55,0</b>   | <b>18,677</b>   | <b>0,0025</b> |
| <b>sklizeň</b>        | <b>77,3</b>   | <b>77,3</b>   | <b>26,249</b>   | <b>0,0009</b> |
| <b>porost*sklizeň</b> | <b>0,3</b>    | <b>0,3</b>    | <b>0,098</b>    | <b>0,7620</b> |
| <b>Chyba</b>          | <b>23,6</b>   | <b>2,9</b>    |                 |               |

Z hlediska druhu porostu byla zjištěna vyšší vlhkost u kostřavy červené a to průměrně o 4,3 obj. % v hloubce 10 cm a o 5,7 obj. % v hloubce 20 cm. Kostřava červená roste pomaleji a vytváří méně biomasy než jetelotrávní směska. Zmulčovaná hmota kostřavy červené se navíc

nerozkládá tak rychle jako u jetelotravní směsi, což má za důsledek jednak pomalejší příjem živin z rozkládající se hmoty a jednak snížení rychlosti odparu z důvodu větší vrstvy stařiny.

Tab.2: Analýza rozptylu objemové vlhkosti půdy v hloubce 20 cm, průměr všech termínů měření (porost: KČ x JTS, sklizeň: mulč x seč)

| 20 cm                 | SČ            | PČ            | F               | p             |
|-----------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| <b>Abs. člen</b>      | <b>6559,5</b> | <b>6559,5</b> | <b>1439,562</b> | <b>0,0000</b> |
| <b>porost</b>         | <b>96,2</b>   | <b>96,2</b>   | <b>21,108</b>   | <b>0,0018</b> |
| <b>sklizeň</b>        | <b>39,0</b>   | <b>39,0</b>   | <b>8,570</b>    | <b>0,0191</b> |
| <b>porost*sklizeň</b> | <b>4,0</b>    | <b>4,0</b>    | <b>0,886</b>    | <b>0,3741</b> |
| <b>Chyba</b>          | <b>36,5</b>   | <b>4,6</b>    |                 |               |

## LITERATURA

- /1/ Cagaš, B. et al.: *Zakládání a ošetřování krajinných trávníků a travnatých ploch veřejné zeleně*. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně, 2011: 65 s.
- /2/ Cagaš, B., Knot, P., Janků, L.: Impact of different management practices on the occurrence of some biotic disorders in turf grasses, 2011: 320 – 322. In: Poetsch, E. M., Krautzer, B., Hopkins, A. (Eds.): *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions*. Groebming: Wallig Ennstaller Druckerei und Verlag Ges.m.b.H., 632 s.
- /3/ Knot, P., Hrabě, F., Vrzalová, J.: Production of above ground phytomass of turf grass species during their extensive exploitation, 2011: 431 – 433. In: Poetsch, E. M., Krautzer, B., Hopkins, A. (Eds.): *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions*. Groebming: Wallig Ennstaller Druckerei und Verlag Ges.m.b.H., 2011, 632 s.
- /4/ Kvítek, T., Duffková, J., Peterková, J., Mašková, Z.: Teplota a vlhkost půdy rozdílně využívaných porostů lučního stanoviště na Šumavě. *Silva Gabreta*, 5, 2000: 51-62.

## Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory Interní grantové agentury Agronomické fakulty Mendelovy Univerzity v Brně, projekt č. IP 21/2012 Vliv mulčování na půdní vlastnosti a kvalitu travního porostu.



## VPLYV KLIMATICKÝCH PODMIENOK NA PRODUKČNÚ SCHOPNOSŤ MÄTY PIEPORNEJ (*MENTHA*×*PIPERITA* L.)

### *INFLUENCE OF CLIMATE CONDITIONS ON PRODUCTION CAPACITY OF PEPPERMINT (*MENTHA*×*PIPERITA* L.)*

<sup>1</sup>Daniela Gruľová, <sup>1</sup>Jozef Fejér, <sup>2</sup>Ivan Šalamon

<sup>1</sup> Prešovská univerzita, FHPV, Katedra ekológie, Ul. 17. novembra 1, 081 16 Prešov, dgrulova@gmail.com

<sup>2</sup> Prešovská univerzita, Centrum excelentnosti ekológie živočíchov a človeka, Ul. 17. novembra 1, 081 16 Prešov

#### *Summary*

Significant changes in global climate affecting the production parameters of many important plant species. Peppermint, as a medicinal plant grown in different parts of the world, requires appropriate conditions for optimal biomass and essential oil production. There were monitored and evaluated production parameters of monodominant population of new breed variety of peppermint (PO-MENTH\_PIP-1) in 2010 – 2012 in regarding to the different soil and climatic conditions in experimental field of eastern Slovakia. The results were confirmed by statistical analysis. Biomass of the peppermint population risen due to climatic conditions in the order of years 2010<2012<2011. Quantitative analysis of secondary metabolites confirmed increased production of essential oil (141,55 – 455,34 mg/100g) in the reverse order of years, as it was in the creation of biomass.

*Key words: peppermint, precipitation, temperature, biomass, essential oil*

#### *Súhrn*

Značne zmeny globálnej klímy ovplyvňujú produkčné parametre mnohých významných druhov rastlín. Mäta pieporná ako liečivá rastlina pestovaná v rôznych oblastiach sveta si vyžaduje vhodné podmienky pre optimálnu produkciu biomasy a esenciálneho oleja. V rokoch 2010 – 2012 boli monitorované a vyhodnotené produkčné parametre monodominantnej populácie novošľachtenej odrody mäty piepornej (PO-MENTH\_PIP-1) so zreteľom na rôzne pôdno-klimatické podmienky pestovateľského stanovišťa na východnom Slovensku. Získané výsledky potvrdili štatisticky vysoko preukazný vplyv roka a mesiaca na rast a vývoj rastlín a akumuláciu silice. Biomasa v populácii mäty piepornej narastala vplyvom klimatických podmienok v poradí rokov 2010<2012<2011. Kvantitatívna analýza sekundárnych metabolitov potvrdila zvýšenú tvorbu esenciálneho oleja (141,55 – 455,34 mg/100g) v opačnom poradí rokov ako pri tvorbe biomasy.

*Kľúčové slová: mäta pieporná, zrážky, teplota, biomasa, silica*

#### **ÚVOD**

Mäta pieporná (*Mentha*×*piperita* L.) je trváca bylina, ktorej prirodzený habitat je lokalizovaný v Európe. Tento druh bol naturalizovaný v USA a Kanade, ale pestuje sa aj v iných častiach sveta. Mäta pieporná je hybrid mäty klasnatej (*Mentha spicata*) a mäty

vodnej (*Mentha aquatica*) /4/. Jej pestovanie je sústredené najmä do regiónov, ktoré sa nachádzajú nad 40. – 41. rovnobežkou zemepisnej šírky. Komerčná produkcia mäty piepornej je zameraná na čerstvú vňať, sušené listy a esenciálny olej /12/. Jej produkty sa využívajú vo fytoterapii najmä v podobe čajovej zmesi, v potravinárskom a farmaceutickom priemysle ako prísada do rôznych pochutín či zubných pást /9,3,5/.

Ako mnoho iných druhov rastlín, je aj úroda biomasy a esenciálneho oleja rodu mäta ovplyvnená genotypom, klimatickými a geografickými podmienkami, vekom jedincov, zberom aj spôsobom spracovania /2, 6, 1, 11/.

Cieľom našej práce bolo zhodnotiť vplyv klimatických podmienok (teplota ovzdušia a množstvo zrážok) na produkčnú schopnosť mäty piepornej (*Mentha × piperita* L.) pestovanej v agroklimatických podmienkach východného Slovenska na experimentálnom pozemku Prešovskej univerzity v rokoch 2010 - 2012.

## MATERIAL A METÓDA

Rastlinný materiál bol získaný v roku 2006 z Výskumného inštitútu agro-priemyselnej produkcie Velika Bakta – Ukrajina. Od toho roku prebieha na experimentálnom pozemku Prešovskej univerzity klonálne šľachtenie a sledujú sa ekofyziologické charakteristiky tohto rastlinného druhu. Novošľachtená odroda sa vyznačuje vysokým obsahom mentolu (70-75%). Pod názvom PO-MENTH\_PIP-1 sa pripravuje na odrodové skúšky a následne na registráciu druhej odrody *Mentha × piperita* L., po odrode *Perpeta*, na Slovensku.

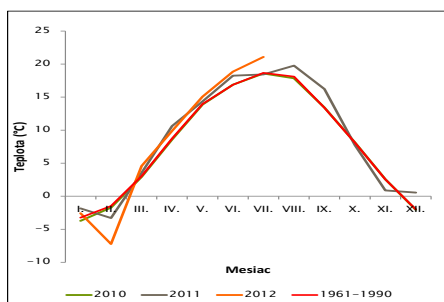
Biomasa mäty piepornej bola odoberaná z 1 m<sup>2</sup> v troch opakovaniach raz mesačne (marec – september) počas vegetačných sezón. Kvantitatívne (vážením) bola vyhodnotená čerstvá biomasa, po usušení pod prístreškom suchá biomasa a po extrakcii hydrodestiláciou aj množstvo silice. Raz ročne bol vykonaný odber pôdnej vzorky na analýzu základných pôdnych parametrov, ktoré vykonal Ústredný Kontrolný a Skúšobný Ústav Poľnohospodársky v Košiciach. Denné meteorologické parametre (teplota vzduchu a množstvo zrážok) sme získali z najbližšej meteorologickej stanice v Malom Šariši, ktorá je vzdialená od našej experimentálnej plochy približne 2 km vzdušnou čiarou.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pôdne parametre sa počas nášho výskumu výrazne nemenili. Pôdna reakcia dosahovala v priemere pH 7,3, obsah humusu v pôde bol stredný (2,98 %), množstvo fosforu vysoké (140 mg.kg<sup>-1</sup>), a obsah draslíka (92 mg.kg<sup>-1</sup>) a horčíka (110 mg.kg<sup>-1</sup>) bol nízky. Medziročné klimatické podmienky (teplota aj zrážky) boli výrazne odlišné, čo je graficky znázornené (Graf 1 a 2). Rok 2010 sa teplotne najviac približoval dlhodobému normálu kým nasledujúce dva roky boli teplejšie. Podobný priebeh je zaznamenaný aj na klimatograme zrážkovej činnosti.

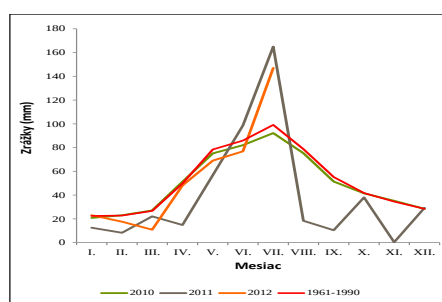
Teplejšie klimatické podmienky a dlhšia vegetačná sezóna prispievajú k zvýšenej úrodnosti mäty piepornej /8/. Najvyššia úroda čerstvej aj suchej biomasy bola zaznamenaná v mesiaci júl v roku 2011. Priemerná hmotnosť čerstvej biomasy v roku 2010 bola 168,48 g.m<sup>-2</sup>, v roku 2011 to bolo 956,75 g.m<sup>-2</sup> a v roku 2012 bola hmotnosť biomasy 662,29 g.m<sup>-2</sup> (Graf 3).

Úroda esenciálního oleja dosiahla najvyššie množstvo v roku 2010 (445,37 mg/100g FW), v roku 2012 dosiahla úroda esenciálního oleja 204,60 37 mg/100g FW a najnižšia úroda bola zaznamenaná v roku 2011 len 141,55 mg/100g FW (Graf 4).



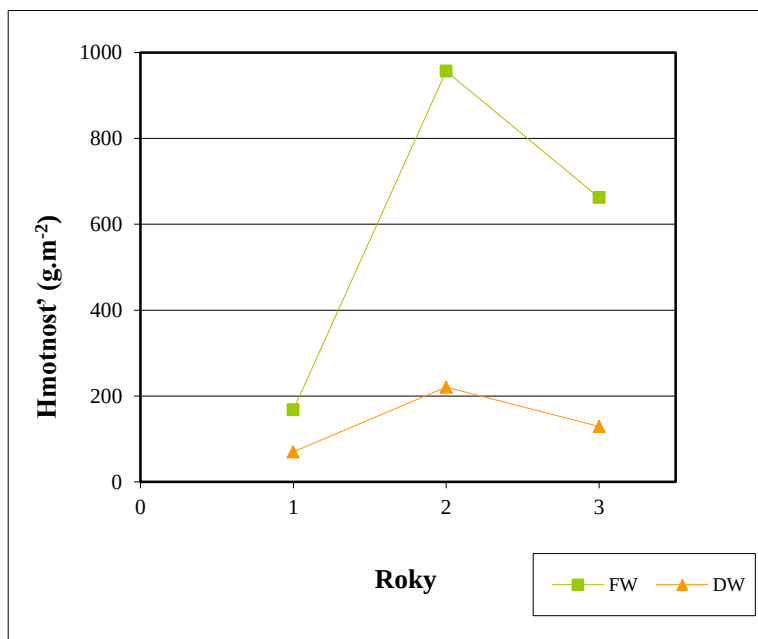
Graf 1

Graf 1: Porovnanie priemerných mesačných teplôt vzduchu v rokoch 2010-2012 s dlhodobým normálom



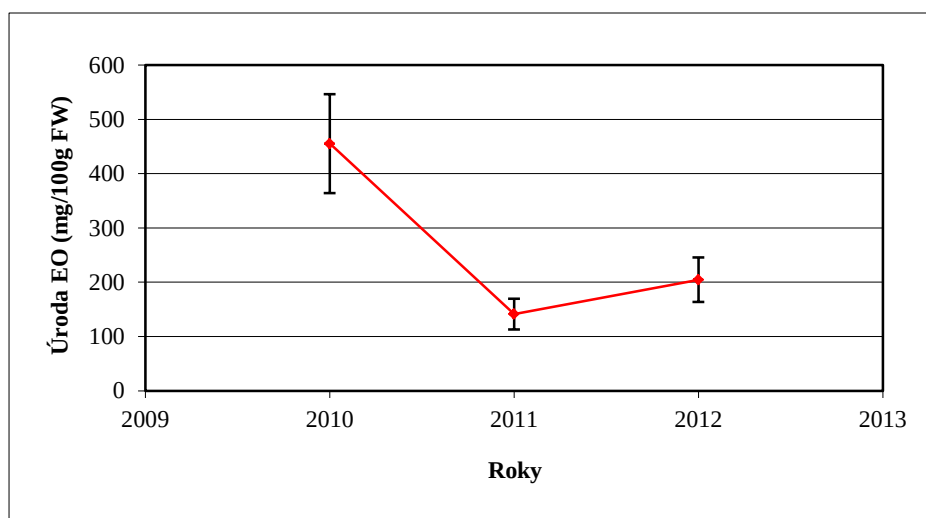
Graf 2

Graf 2: Porovnanie priemerných mesačných zrážok v rokoch 2010 - 2012 s dlhodobým normálom



Graf 3: Suma biomasy mäty piepornej v jednotlivých rokoch (FW – fresh biomass – čerstvá biomasa; DW – dry biomass – suchá biomasa)

Ako u iných aromatických rastlín, úroda aj zloženie esenciálního oleja rodu *Mentha* je ovplyvňovaná interakciami medzi genotypom a jeho životným prostredím, vekom jedincov rastlinného druhu, časom zberu a klimatickými podmienkami počas vegetačnej sezóny, taktiež metódou extrakcie a spôsobom skladovania /7/. Tvorba sekundárnych metabolitov prebieha v glandulárnych trichónoch epidermy rastlinného pletiva. Hlavné komponenty tvoria prchavé látky (monoterpény), ktoré sú v teplejších klimatických podmienkach uvoľňované do prostredia /10/.



Graf 4: Úroda esenciálneho oleja v jednotlivých rokoch prebiehajúceho experimentu

#### LITERATÚRA

- /1/Kofidis, G., Bosabalidis, A. and Kokkini, S.: Seasonal variation of essential oils in a linalool rich chemotype of *Mentha spicata* grown wild in Greece. *Journal of Essential Oil Research* 16,,2004: 469-472.
- /2/Kumar, S., Bahl, J.R., Bansal, R.P., Kukreja, A.K., Garg, S.N., Naqvi, A.A., Luthra, R. and Sharma, S.: Profiles of the essential oils of Indian menthol mint *Mentha arvensis* cultivars at different stages of crop growth in northern plains. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Sciences* 22, 2000: 774-786.
- /3/Lawrence, B.M.: *Mint: The genus Mentha*. CRC Press. Boca Raton, FL. 2006
- /4/McKay, D.L., Blumberg, J.B.: A Review of the Bioactivity and Potential Health Benefits of Peppermint Tea (*Mentha piperita* L.). *Phytotherapy research*, 20, 2006: 619–633.
- /5/Mint Industry Research Council. Available at <http://usmintindustry.org/> [accessed Feb. 2009; verified 16 Nov. 2009]. MIRC.
- /6/Srivastava, R.K., Singh, A.K., Kalra, A., Bansal, R.P., Tomar, V.K.S., Bahl, J.R., Naqvi, A.A., Sharma, S. and Kumar, S.: Optimum crop age of menthol mint *Mentha arvensis* cv, Kosi crops in the Indo-gangetic plains for high yields of menthol rich essential oil. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Sciences* 22, 2000: 771-773.
- /7/Shrivastava, A. : A review on peppermint oil. In *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. ISSN 0974-2441, 2009. vol. 2, pp. 27–33.
- /8/Telci, I. et al.: The effect of ecological condition on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. In *Industrial Crops and Products*. ISSN 0926-6690, 2011. vol. 34, pp. 1193-1197.
- /9/Topalov, V.D. and V.D. Zheljaskov: Effect of harvesting stages on the yield of fresh material, essential oil, and planting material from *Mentha piperita* Huds. and *Mentha arvensis* L. *Herba Hung.* 30, 1989:60–67.
- /10/Turner, G. et al.: Limonene synthase, the enzyme responsible for monoterpene biosynthesis in peppermint, is localized to leucoplasts of oil gland secretory cells. In *Plant Physiology*. ISSN 1532-2548, 1999. vol. 120, pp. 879–886.
- /11/Verma, R.S. – Rahman, L. - Verma,R.K. - Chauhan, A. – Yadav, A.K and A. Singh: Essential Oil Composition of Menthol Mint (*Mentha arvensis*) and Peppermint (*Mentha piperita*) Cultivars at Different Stages of Plant Growth from Kumaon Region of Western Himalaya. *Open Access Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 1, 2010: 13-18.
- /12/Zheljaskov, V. D. - Cantrell, C. L. – Astatkie, Tess, and Ebelhar, M. W.: Peppermint Productivity and Oil Composition as a Function of Nitrogen, Growth Stage, and Harvest Time, *Agronomy Journal* 102, 1, 2010.

#### Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej Republiky, projekt: 00162-0001 (MS SR-3634/2010-11) “Izolácia prírodných látok rastlín procesom lyofilizácie a zmeny ich kvalitatívno-kvantitatívnych vlastností”.

## **VÝVOJ SORTIMENTU A VÝNOSŮ ZELENIN PĚSTOVANÝCH V POLABÍ (ČESKÉ NÍŽINĚ) VE VZTAHU KE KLIMATU**

### ***THE EVOLUTION OF THE ASSORTMENT AND YIELDS OF VEGETABLE CROPS IN RELATION TO CLIMATE IN POLABÍ***

Vera Potop

ČZU v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6  
- Suchdol, potop@af.czu.cz

#### ***Summary***

The paper deals with evolution of the assortments and yields of vegetable crops in relation to climate in Polabí. This study integrated two basic sources: the oldest time series of vegetable yields in Bohemia from Kingdom statistical bulletin since 1868 and the average annual vegetable yields as reported by the Czech Statistical Office. In order to determine the evolution of the productivity of vegetables it was necessary to standardize the yield series, because historical crop yield data integrates a number of factors in addition to adverse weather, including changes in technologies and management. The historical yield series (t/ha) were standardized into non-dimensional values.

*Key words: vegetables, cabbage, Polabí, meteorological events*

#### ***Souhrn***

Príspevek se zabývá posuzováním vývoje sortimentu a výnosů zelenin pěstovaných v Polabí ve vztahu ke klimatu. Je popsán vývoj zeleninových druhů od počátku pěstování kulturních rostlin v oblasti řeky Labe, jejich rozšíření a sortiment ve vztahu ke klimatu panujícímu v různých dobách. V popisu dějin pěstování zeleniny je kladen důraz na vztah pěstovaného sortimentu a podnebí, které v tom období ovlivňovalo růst rostlin. Jako zdroj dat jsou použity výsledky statistického zjišťování výnosů, a to od těch úplně nejstarších, které se v Čechách uskutečnily v roce 1868, do současnosti. Nejstarší data se týkají pouze zelí, které se jako jediná významná polní zelenina zjišťovalo. Dle indexu standardizované výnosové řady zelí (*Brassica oleracea* L), roky s nejnižším výnosem zelí za období 1898-2010 byly v letech 1947 (-2,6 nebo 10 t.ha<sup>-1</sup>), 1992 (-1,7 nebo 23 t.ha<sup>-1</sup>) a 1952 (-1,7 nebo 19 t.ha<sup>-1</sup>).

*Klíčová slova: zeleniny, zelí, Polabí, povětrnostní podmínky*

## **ÚVOD**

Tradičními oblastmi pěstování polních zelenin v ČR jsou převážně nížinné polohy v údolích řek. Pěstitelská rizika těchto oblastí lze rozdělit do dvou hlavních skupin: v důsledku liberalizace obchodu nejistá a proměnlivá cena a produkční nejistota v důsledku extrémních meteorologických jevů. Problematika vlivu meteorologických extrémů na produkci polních zelenin není v současné době dostatečně řešena a její studie prakticky chybí. Složitost těchto studií spočívá v kombinaci variability meteorologických jevů, finančních a tržních hledisek plynoucích z ekonomické globalizace [3]. V důsledku vývoje klimatu, šlechtění nových odrůd a introdukci nových druhů zelenin může docházet ke změnám hranic areálů vhodných pro rentabilní pěstování zelenin. Polabí je díky své poloze a přírodním podmínkám významnou pěstitelskou oblastí zeleniny a produkuje velký díl výnosu tržních druhů v České republice.

Polabí bylo od historických dob vyhlášené svou úrodností, avšak výnosná pole nahrazovala původní lužní lesy a regulace toku Labe změnila vlhkostní poměry v okolí řeky. V 16. století na Poděbradsku velké plochy zaujímala rozsáhlá soustava rybníční /2/. Koncem 16. století mělo Labe v oblasti Plotiště 8 ramen, která tvořila četné zákruty /5/ a na Pardubicku se nacházelo 235 plných rybníků, které se postupně vysušovaly /4/. Už v 17. století neupravená řeka se značným sklonem dna a četnými jezy vyvolávala potřebu regulace celého toku. Koncem 18. a počátkem 19. století bylo na Poděbradsku zrušeno celkem mnoho rybníků, místo nich vznikly louky a široké lány polí. Podobně tomu bylo i na sousedním panství Kolínském, na Brandýsku a Přerovsku. Kombinací regulace toku, vysoušení rybníků a kácení lužních lesů byly příčinou ztráty vláhy ve středním Polabí. Dnes Polabí patří mezi oblasti nejvíce ohrožené výskytem sucha. Distribuce a intenzita srážek v jednotlivých měsících, střídání horkých a studených období, sucha a vlhka, délka zimy a sněhová pokrývka, to vše v závislosti na nárocích jednotlivých druhů ovlivňuje růst a vývoj pěstované zeleniny /3/. V minulých dobách nepanovalo ani v oblasti Polabí jednotné klima. V *obdobích klimatického optima* se dařilo i teplomilným zeleninovým druhům, naopak nepříznivá období způsobovala neúrodu.

## MATERIÁL A METODA

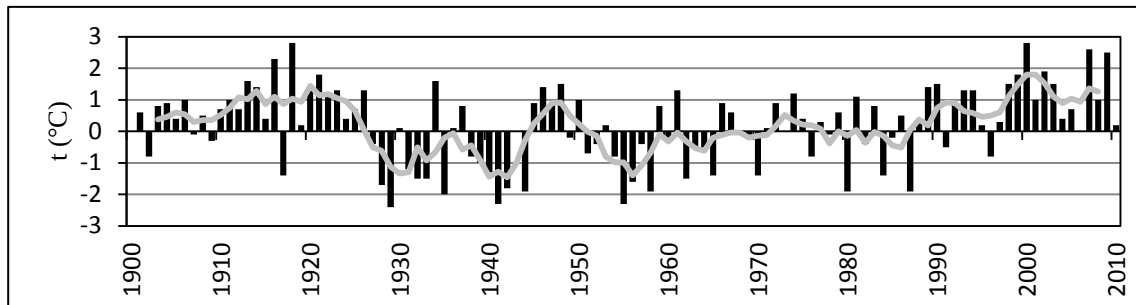
Príspevek se zabývá posuzováním vývojem sortimentu a výnosů zelenin pěstovaných v Polabí ve vztahu ke klimatu. Následně byly v práci využity k analýzám dva základní zdroje: (1) nejstarší výnosové řady v Čechách ze zpráv Výboru pro statistiku Království od roku 1868 a (2) informace o produkčních parametrech v podobě průměrných výnosů tržních polních zelenin (t/ha) z databáze Českého statistického úřadu od roku 1961. Nejstarší výsledky sklizně v Čechách pochází z roku 1868, kdy byl vydán první statistický přehled o hospodaření /7/. Ze zeleniny bylo zjišťováno pouze zelí, které se jako jediné statisticky zaznamenávalo. Dlouhé řady byly získány pro Českou nížinu. Zprávy o sklizni obsahovaly také přehledy počasí. Meteorologická data z té doby jsou sice dostupná, ale stanice, které zaznamenávaly teploty a srážky, neposkytují dostatečně dlouhou řadu, která by odpovídala výnosové řadě u zelí. Nejznámější je měření teplot a srážek v Klementinu, klima v centru Prahy však neodpovídá Polabí. Polabské stanice posílaly svá data v 19. století do Vídně, některá měření však již nelze dohledat. Srovnání výnosů zelí s průběhem počasí vychází z dobových zpráv, které byly součástí vydávaného statistického přehledu. Ačkoli výnosy zelí jsou zaznamenány od roku 1868 do současnosti, pouze s přerušením v letech druhé světové války, nelze je použít jako nepřetržitou řadu. Jednak se měnilo zjišťované území, avšak nebyly používány i stejné jednotky, nejstarší sklizně jsou uvedeny v kopách, ne jednotkách hmotnosti. Kopa zelí je 60 hlávek, takže není možný přepočet na tuny. U plošné míry tento přepočet možný je, původní jitra se mohou převést na hektary. V některých pozdějších zprávách byla plocha uvedena jak v jitrech, tak v hektarech, takže bylo možné stanovit koeficient na přepočet: hektar = jitra\*0,575. Metodika statistického zjišťování i za posledních 50 let nebyla jednotná. V roce 2002 došlo ke změně, základem byly výsledky celoplošného strukturálního zemědělského sčítání Agrocensus 2000. Upouští se tak od dosavadního způsobu zjišťování, který kombinoval výsledky šetření dat z předložených výkazů zpravodajskými jednotkami a z kvalifikovaného odhadu struktury pěstebních ploch plodin u zahrádkářů a drobných pěstitelů, se současným přihlédnutím k celkové výměře zemědělské a orné půdy vykazované v katastru nemovitostí. Na přesnost údajů o výnosech má vliv mnoho faktorů. Jednak je to způsob sběru dat, během doby se měnilo zkoumané území, dále pak jednotky a metodika statistického zjišťování. Značná pozornost proto byla věnována doplnění chybějících hodnot produkci zelenin na základě de-trendovaných výnosů a jejich reziduí. Aby bylo možné určit vývoj výnosových parametrů zeleniny bylo nutné standardizovat výnosové řady (SVI), neboť

historická data výnosů jsou ovlivněna nejen průběhem počasí, ale i úrovní managementu a technologií výroby. Výnosové parametry (např.  $t \cdot ha^{-1}$ ) časových řad byly převedeny do bezrozměrných hodnot ( $SVI = -3,5$  do  $+3,5$ ).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

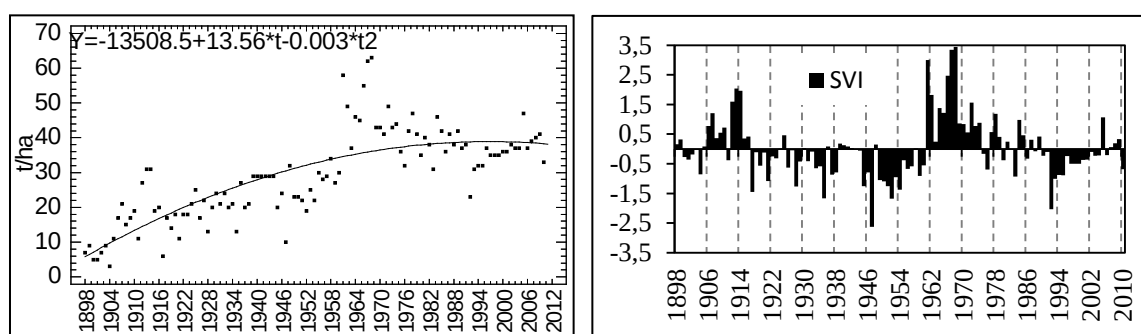
Proměny klimatu mají vliv na sortiment a výnosy pěstované zeleniny. O této souvislosti v minulých dobách můžeme jen nepřímo usuzovat z archeologických nálezů nebo, později, ze záznamů kronikářů. Odhaduje se, že Slované pěstovali před 10. stoletím cibuli, česnek, mrkev, ředkev, okurky, dýni, tykev, řepu, kapustu a zelí. Kosmova kronika zmiňuje cibuli a kmín /1/. Z druhé poloviny 12. století je dosvědčen celer. Nejobsáhlejší je informace o zelí, které bylo v té době určeno pro vlastní spotřebu i na prodej. Často se jako příklad uvádí „*teplé období*“ začátkem 16. století a pěstování melounů a šafránu. Za počátek „*malého klimatického optima*“, které trvalo až do roku 1194, se označuje /6/ rok 875. Tímto rokem skončila série mimořádně chladných a neúrodných roků s velmi mrazivými a sněhem bohatými zimami. To vedlo k osvojování dalších ploch pro zemědělské účely i na místech dříve méně vhodných. Začátkem 13. století nastalo období výrazného „*zhoršování podnebí*“, zahrnovaného pod pojem „*malá doba ledová*“. Toto chladné období trvalo od roku 1195 do roku 1465. Nebyl to klimaticky stejnorodý úsek, teplá epizoda nastala například 1284 - 1304 nebo 1380 - 1391. Předchází, klimaticky drsné období, bylo vystřídáno vlhkostně proměnlivým, v teplých obdobích a v teplých klimatických episodách však spíše sušším, více než jeden a půl století trvajícím teplým obdobím od roku 1466 do roku 1618. Do této doby spadá i rozvoj pěstování nezvyklých plodin (melounů, šafránu). V letech 1619 - 1897 nastalo studené sekulární období, „*druhá malá doba ledová*“, tentokrát velice dobře dokumentováno nejen nepřímými metodami, ale zejména od druhé poloviny již i řadami přímých meteorologických pozorování a měření. Hospodářská recese a krajně nepříznivé klimatické podmínky pak nastaly ve studených a vlhkých letech 1763 – 1771. První polovina 18. století náleží ke studenému intersekulárnímu období a uplatňuje se poměrně pravidelné střídání studených a teplých období /6/. V 18. století dochází k rozvoji pěstování zeleniny, přibývá pěstovaných druhů. Z poloviny 18. století pochází doklady z Roudnického panství, které ilustrují tehdejší sortiment, jedná se o přehled semen cibule, okurky, salátu, dýně a anýzu. V první polovině 19. století vzniklo polní zelinářství. Pěstuje se zelí, kapusta, mrkev, cibule, česnek, chřest, petržel, bob, zelený hrášek, okurky i rajčata na otevřených plochách, kde není zapotřebí pařenišť ani zavlažování, kromě okurek. Podle /6/ bylo v 50. a 60. letech 19. století počasí velmi proměnlivé a obyvatelé trápily střídavě extrémní sucha, velké mrazy, a povodně. Konec 19. století byl ve znamení chladného a vlhkého počasí, které svědčilo bramborám a zelí /6/. Konec 19. století patřil do chladného intersekulárního období 1897 - 1942, na které navázalo teplé intersekulární období 1943 - 1995 /6/. Analýza datové řady sekulární stanice Čáslav ukazuje v jarním období na dvě teplá období, první na počátku 20. století s vysoce kladnými odchylkami teploty a velkými srážkami (teplé a vlhké) a druhé období na konci 20. století s teplými a suchými podmínkami (např. graf 1). V prvních dvou dekádách dvacátého století se vyskytovaly nejnížší záporné odchylky teploty vzduchu a nízké úhrny srážek v letním období (chladno a sucho), naopak od konce 20. století převažovaly teploty vzduchu kladné (teplé a sucho). Za sledovaných 110 let podle letního průměru průměrné denní teploty vzduchu za

desetiletí, ochlazení v období 1901–1920 a výrazný nárůst teplot od poloviny 80. let po současnost ( $+ 0,6 \text{ } ^\circ\text{C.dekáda}^{-1}$ ) /3/. Nejnižší procento normálu srážek v podzimním období měla 40., 50. a 90. léta dvacátého století a první dekáda 21. století. Statisticky významný stoupající trend teploty se projevil v letech 1991 – 2010 s hodnotami převyšujícími  $0,7 \text{ } ^\circ\text{C}$  za dekádu.



Graf 1: Odchytky průměrné měsíční teploty vzduchu od dlouhodobého průměru v jarním období (Čáslav, 1900-2010).

Dle indexu SVI, roky s nejnižším výnosem zelí za období 1898-2010 byly v letech 1947 ( $-2,6$  nebo  $10 \text{ t.ha}^{-1}$ ), 1992 ( $-2,0$  nebo  $23 \text{ t.ha}^{-1}$ ), 1935 ( $-1,7$  nebo  $13 \text{ t.ha}^{-1}$ ), 1952 ( $-1,7$  nebo  $19 \text{ t.ha}^{-1}$ ) a 1917 ( $-1,5$  nebo  $6 \text{ t.ha}^{-1}$ ) (graf 2).



Graf 2: Časový vývoj výnosu ( $\text{t/ha}$ ) a standardizované výnosové řady (SVI) zelí za období 1898-2010 v Polabí

## LITERATURA

- /1/ Beranová, M., Lutovský, M.: Slované v Čechách, Archeologie 6. - 12. století. Libri, Praha 2009: 475s.
- /2/ Nožička, J.: Hlavní příčiny ztráty vláhy ve středním Polabí. Práce výzkumných ústavů lesnických ČSR svazek 8, 1955: 181 – 202.
- /3/ Potop, V., Možný M., Soukup, J.: Drought at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. Agric Forest Meteorol, 156, 2012: 121– 133.
- /4/ Příspěvky ku dějinám zemědělství v království Českém za století 1791 – 1891. Praha, 1891.
- /5/ Pišl, F.: Paměti obce Plotíšť nad Labem. Plotíšť nad Labem, nákladem obce. 1938. 419s.
- /6/ Svoboda, J., Vašků, Z., Cílek, V.: Velká kniha o klimatu země Koruny České. Regia, 2003: 655s.
- /7/ Zprávy výboru pro statistiku polního a lesního hospodářství v Království Českém od 1885. Praha.

## Poděkování

Tato práce byla podpořena výzkumným záměrem S grant (MSMT) a MSM 6046070901.



## **VLIV MIKROKLIMATU VENTAROL VRCHU BOREČ NA VEGETACI BOREČKY VZÁCNÉ (*TARGIONIA HYPOPHYLLA* L.)**

### ***INFLUENCE OF MICROCLIMATE OF BOREČ HILL ON VEGETATION OF TARGIONIA HYPOPHYLLA L.***

Luboš Türkott, Eva Pospíšilová

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129,  
165 21 Praha 6 – Suchbátka, [turkott@af.czu.cz](mailto:turkott@af.czu.cz)

#### **Summary**

In the year of 2012 microclimatic conditions of fissures in Boreč Hill phonolite massive were monitored. These fissures create a phenomenon known as ventarols. Microclimatic regime of the system creates favorable conditions for *Targionia hypophylla* L., whose developmental stages are closely linked to the specific features of the airflow (way, strength and direction) in the fissures. In 2012 year, *Targionia hypophylla* L. was found in only one of ventarole. The growing season of *Targionia hypophylla* L. occurs during when exhalations of warm and humid air in the cold half-year period. The highest differences in temperature inside and outside the ventarole was reached 29.9 °C during heavy frosts in the first half of February 2012.

*Key words: microclimatic conditions, ventarols, Targionia hypophylla L., Borec hill*

#### **Souhrn**

V roce 2012 byly sledovány mikroklimatické poměry puklinového systému znělcového masivu vrchu Boreč. Tyto pukliny vytvářejí jev známý jako ventaroly. Mikroklimatický režim systému vytváří vhodné podmínky pro druh *Targionia hypophylla* L., jejíž vývojová stadia jsou úzce vázána na cestu, sílu a směr proudění vzduchu puklinovým systémem. V roce 2012 byla borečka nalezena pouze v jedné z ventarol. Vegetační období borečky nastává při exhalacích teplého a vlhkého vzduchu v období chladného půlroku. Nejvyššího rozdílu teplot vzduchu a vzduchu exhalovaného bylo dosaženo v období silných mrazů v první polovině února 2012. Největší absolutní rozdíl 29,9 °C byl naměřen 3. 2. 2012.

*Klíčová slova: mikroklimatické podmínky, ventaroly, borečka vzácná, Boreč*

#### **ÚVOD**

České středohoří vzniklo v důsledku třetihorní vulkanické činnosti, kdy reliéf krajiny vytvářejí především kopce a vrchy vyvěřelých čedičů a znělců. Výškový gradient středohoří je od koryta Labe u Děčína 122 m n. m. do 837 m n. m. na vrcholu Milešovky. Vrch Boreč s nadmořskou výškou 446 m (N50 30.851 E13 59.322) patří do Milešovské části Českého středohoří a do Lovošské vrchoviny. Těleso vrchu je protkáno sítí puklin vzniklých pnutím znělcového masivu v chladnoucí hornině. Svahy Boreče jsou převážně na severní straně pokryté suťovými splazy vzniklými mrazovou erozí v průběhu čtvrtohor. Princip suťového

fenoménu spočívá především ve specifickém mikroklimatu sutí. Zatímco povrch sutí podléhá teplotním výkyvům, prostředí uvnitř sutí je vlhčí a má vyrovnané teploty, takže může docházet k proudění vzduchu sutí a jeho exhalacím tzv. fumaroly resp. ventaroly /1/. V důsledku vysoké akumulací schopnosti masivu dochází k výdechům teplého a vlhkého vzduchu v zimním období. Kromě geologického aspektu je Boreč zajímavý svou faunou a flórou. Vyskytuje se zde několik chráněných rostlinných druhů v čele s borečkou vzácnou *Targionia hypophylla* L.

*Targionia hypophylla* L. je teplomilný druh, rozšířený v oblastech se středomořským či atlantským klimatem. V České republice se vyskytuje pouze na jediné lokalitě, kterou je vrchol Boreče. Jedná se o reliktní třetihorní flóru, který zde musel přežít dobu ledovou a udržuje se jen díky zcela výjimečným mikroklimatickým podmínkám, které jsou způsobeny prouděním vzduchu ventarolami. Podle /2/ byla horní vyústění ventarol uměle prohloubena, takže není možné říci, kde všude borečka původně rostla. V roce 1932 byla zdokumentována /3/ ve třech ventarolách, kde rostla dosti hojně. Totéž potvrzuje i /2/, jak v roce 1937, tak 1939, kdy pokrývala celé dno jedné z ventarol a bohatě fruktifikovala. Když se na lokalitu vrátil v roce 1945, borečka byla vzácnější a v roce 1956 na jaře, kdy prováděl hlavní výzkum, našel ventaroly skoro suché, bez proudění a poškozené – ze dna největší ventaroly byla vybrána suť, na které předtím borečka nejvíce rostla, zbývající porost měl cca 4 dm<sup>2</sup>. Pilous se domníval, že vyhynutí borečky bylo otázkou nejbližší budoucnosti a také /1/ zmiňuje, že byla borečka téměř vyhubena.

## MATERIÁL A METODA

Výzkum byl zaměřen na hodnocení teplotních poměrů a proudění vzduchu v puklinovém systému na vrchu Boreč. Do suťových splazů a vyústění ventarol byla instalována teplotní čidla PT100 a v hodinových intervalech byla měřena teplota vzduchu v puklinovém systému. Ambulantně ve vybraných termínech byla měřena rychlost a směr proudění vzduchu v puklinách anemometrem Stoppani. Současně byla měřena teplota vzduchu mimo puklinový systém ve výšce 2 m nad zemí v porostu dřevin. Z hodinových hodnot teploty vzduchu byla vypočítána průměrná denní teplota vzduchu.

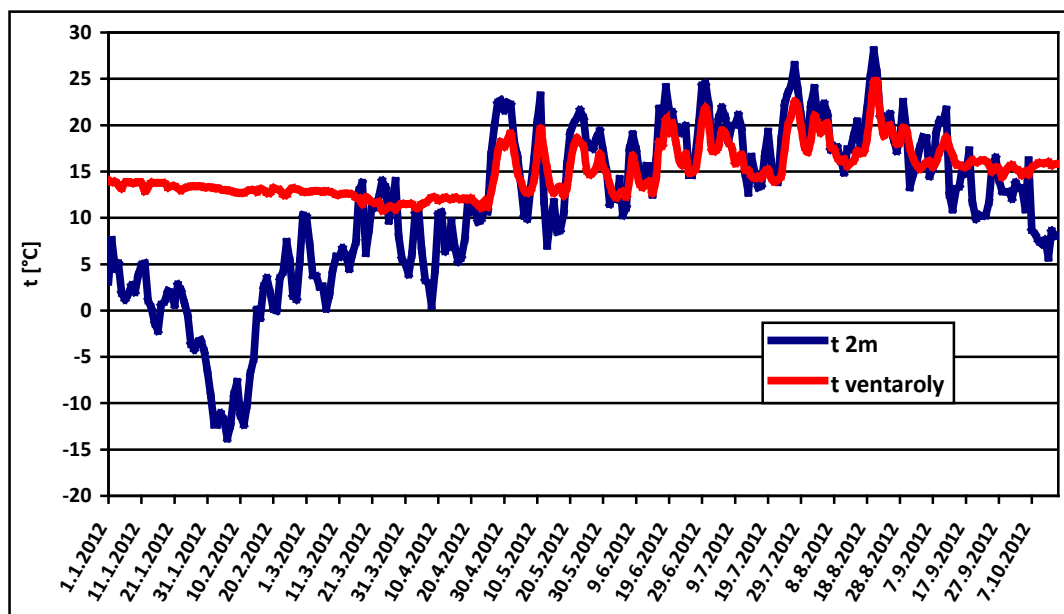
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Pozorováním původních nalezišť na vrchu Boreč byl v roce 2012 zjištěn výskyt borečky v jednom z vyústění ventarol na ploškách řádově desítek cm<sup>2</sup>. Výskyt a vývojová stadia borečky jsou úzce vázána na proudění vzduchu puklinovým systémem. Změny v proudění znamenají nárůst či pokles poměrné vzdušné vlhkosti a teploty vzduchu, na který borečka velmi rychle reaguje (tab. 1, obr. 1). Puklinový systém vrchu Boreč má během roku několik rozdílných režimů cirkulace vzduchu. V prvním období teplota exhalovaných par pomalu klesá vlivem ochlazování horniny, exhalace jsou mírné a při poklesu rozdílu teplot, proudění ustává a teplotu uvnitř ventaroly ovlivňuje chladnější vzduch z okolí. V období silných mrazů je rozdíl teplot uvnitř a vně systému nejvyšší a proudění vzduchu směrem vzhůru je stabilní a exhalace jsou mohutné. Při vyrovnání teplot venkovního vzduchu s teplotou uvnitř kopce je směr proudění exhalací ovlivňován i mírnými výkyvy teploty ovzduší (bod zvratu je 14 – 16 °C). Při zvýšení teploty vzduchu nad tuto hodnotu je na vrcholu kopce vzduch

nasáván, v nitru masivu ochlazován a vydechován v ledových jeskyních suťových splazů na severní straně. Mikroklimatický režim puklinového systému je stabilní v období od října do dubna a v tomto období nastávají vhodné podmínky pro vegetaci borečky vzácné. Borečka obrůstá (obr. 1b) v době, kdy je v jejím okolí vydechován teplý a vlhký vzduch a zároveň dochází ke kondenzaci vodní páry ve vyústění ventarol. K tomu dochází mimo vegetační období převážné většiny rostlinných druhů. Borečka vegetuje také v době, kdy potřebnou vláhu získává prostřednictvím atmosférických srážek. Hlavní vegetační období borečky je tedy od podzimu do jara. Vegetativní rozmnožování u tohoto druhu není známo a rozšíření v rámci lokality Borče je tedy vázáno na tvorbu samčích a samičích generativních orgánů tzv. antheridií a archegonií. V průběhu sledování nebyly tyto orgány borečky zjištěny. Během suchého a teplého počasí, kdy ventaroly na vrcholu masivu nasávají okolní vzduch, jsou stélky borečky seschlé a černé (obr. 1a).

| Datum      | Proudění |          | Teplota vzduchu<br>[°C] |           | <i>Targionia hypophylla</i> L.     |
|------------|----------|----------|-------------------------|-----------|------------------------------------|
|            | v [m/s]  | směr     | 2 m                     | ventaroly |                                    |
| 9.1.2012   | 2,47     | výdech   | 2,0                     | 13,8      | vegetuje                           |
| 5.2.2012   | -        | výdech   | -11,8                   | 13,0      | vegetuje                           |
| 28.3.2012  | -        | vdech    | 14,0                    | 10,9      | nenalezena                         |
| 2.4.2012   | 0,94     | výdech   | 6,0                     | 11,5      | stélky černé, vyschlé              |
| 13.4.2012  | 0,60     | výdech   | 6,9                     | 12,1      | vegetuje                           |
| 10.5.2012  | 1,02     | vdech    | 20,4                    | 16,9      | stélky černé, vyschlé              |
| 3.7.2012   | 0,98     | vdech    | 17,7                    | 17,2      | vegetuje (vlivem srážek)           |
| 14.7.2012  | 0,18     | střídavé | 16,6                    | 14,5      | vegetuje (vlivem srážek)           |
| 22.7.2012  | 0,00     | -        | 13,9                    | 14,1      | stélky vysychají, ale stále zelené |
| 26.7.2012  | 0,98     | vdech    | 24,3                    | 21,0      | stélky černé, vyschlé              |
| 23.9.2012  | 0,42     | výdech   | 10,3                    | 16,1      | většina vegetuje, část vyschlá     |
| 16.10.2012 | 1,58     | výdech   | 8,4                     | 16,2      | vegetuje                           |
| 3.11.2012  | 1,88     | výdech   | 6,7                     | 15,5      | vegetuje                           |

Tab. 1 obsahuje záznamy z pozorování borečky vzácné, je patrná její reakce na měnící se mikroklima lokality. V období teplého půlroku jsou stélky borečky tmavé a seschlé. Výjimkou jsou období s dostatkem srážek. Je zřejmé, že srážkově silně nadnormální červenec 2012 udržel borečku ve vegetačním stádiu. Úhrn srážek v Ústeckém kraji byl 129 mm, což je 189 % normálu. Průměrné denní teploty vydechovaného vzduchu ventarolami jsou v chladném období roku velmi stabilní a nezávislé na aktuálním stavu počasí. Jak je patrné z grafu 1., bylo největšího rozdílu teploty exhalovaného vzduchu a teploty vzduchu ve 2 m dosaženo v období silných mrazů v první polovině února 2012. Tyto silné mrazy neovlivnily teplotu vydechovaného vzduchu a teplotní rozdíl průměrných denních teplot vzduchu ve 2 m a vzduchu exhalovaného dosáhl maxima 26,8 °C dne 6. 2. 2012. Nejvyššího okamžitého rozdílu (29,9 °C resp. 29,5 °C) v teplotě vzduchu a exhalovaného vzduchu bylo dosaženo 3. 2. 2012 v 5:00, kdy teplota vydechovaného vzduchu byla u jedné z ventarol 13,4 °C a u druhé 13,0 °C a teplota vzduchu ve 2 m byla -16,5 °C. /4/ uvádí teplotní rozdíl dne 9. 2. 1929 23 °C.



Graf 1: Průměrná denní teplota vzduchu ve 2 m a vzduchu exhalovaného ventarolami



a) 2. 4. 2012

b) 13. 4 2012

Obr. 1: Vegetační stádia borečky vzácné *Targionia hypophylla* L.

## LITERATURA

- /1/ Kubát K.: Ledové jámy a exhalace v Českém středohoří II. Vlastivědný sborník Litoměřicko, Okresní muzeum Litoměřice, 8, 1971: 67-89.
- /2/ Pilous Z.: Mechorosty Borečského vrchu v Českém středohoří: příspěvek k výzkumu státní přírodní rezervace. Praha: Ochrana přírody, 1959: 97-99.
- /3/ Šimr J.: Vzácný přírodní úkaz v Českém středohoří, Ochr. Př. 12(2), 1957: 55-56.
- /4/ Šimr J.: Státní přírodní rezervace Borečský vrch. Vlastivědný sborník Litoměřicko, Okresní muzeum Litoměřice, 3-4, 1964: 41-45.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MSM 6046070901 a ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky Litoměřice.

## **MOŽNOSTI HODNOCENÍ DISTRIBUCE VYBRANÝCH ŠKODLIVÝCH ORGANISMŮ V PROSTORU VE VZTAHU K ODHADŮM RIZIK PRO JEDNOTLIVÉ ZÓNY POROSTŮ**

### ***EVALUATION OF SPATIAL PATTERNS OF HARMFUL ORGANISMS IN RELATION TO RISK ASSESSMENT FOR INDIVIDUAL ZONES IN CROPS***

Marek Seidenglanz, Vojtěch Hlavjenka

AGRITEC Plant Protection, Zemědělská 2520/16, 787 01 Šumperk, kontakt: seidenglanz@agritec.cz

#### ***Summary***

Spatial Analysis by Distance IndicEs (SADIE) for *Delia radicum* in oilseed rape fields (2012) and *Acyrtosiphon pisum* and their natural enemies in field peas (2009, 2010) were made. Indices of aggregation ( $I_a$ ,  $J_a$  and also  $I_m$  in several cases) for the individual species were stated.

*Key words: SADIE, spatio-temporal distribution of organisms, insect pests, plant diseases*

#### ***Souhrn***

V příspěvku je představena možnost hodnocení distribuci škodlivých organismů v porostech metodou *Spatial Analysis by Distance IndicEs* (SADIE). Jako modelové organismy posloužily larvy květilky kořenové v porostech řepky ozimé (2012), mšice kyjatka hrachová a její přirození nepřátelé v porostech hrachu (2009, 2010). Pro jednotlivé hodnocené druhy byly stanoveny indexy agregace ( $I_a$ ,  $J_a$ , v některých případech i  $I_m$ ) vyjadřující míru heterogenity v distribuci jejich jedinců v porostech a to jestli je náhodná či ne.

*Klíčová slova: SADIE, distribuce organismů v porostech, hmyzí škůdci, choroby rostlin*

## **ÚVOD**

Sledovat pohyb škodlivých organismů v porostech kulturních rostlin je často velmi obtížné. Je to dáno především jejich vysokou početností a malou velikostí (např. hmyz, spory hub, bakterie) a také často jen mlhavou představou o tom, které faktory vlastně na jejich distribuci v porostech mají reálný vliv. Ekologové se již dlouhou dobu snaží rozpoznat určitá pravidla v distribuci jedinců konkrétních druhů v prostoru (spatial pattern), aby na základě tohoto dokázali odvodit nějaké zákonitosti v chování, které určují pohyb jedinců daného druhu v krajině /1, 2/. Heterogenita v distribuci jedinců určitého druhu je podmíněna nenáhodnými interakcemi mezi nimi navzájem (intra-druhové faktory), ale též interakcemi mezidruhovými /3, 4/. Obecně takováto heterogenita přispívá ke stabilitě ekologických systémů. Z hlediska rostlinolékařské problematiky by snaha postihnout zákonitosti v distribuci konkrétních škodlivých (ale i dalších k nim vázaným - např. jejich přirozených nepřátel) organismů v porostech měla být klíčová, neboť souvisí s poznáváním mechanismů, které mají pravděpodobně zásadní vliv na stabilitu agroekosystémů. V tomto příspěvku se pokusíme o předvedení výše popsaného přístupu na několika vybraných škodlivých resp. užitečných organismech a o vyvození konkrétních praktických závěrů.

## MATERIÁL A METODA

K hodnocení distribuce vybraných druhů (pro tento příspěvek byly vybrány jako modelové tyto druhy: larvy květilky kořenové, mšice kyjatka hrachová a její přirození nepřátelé) v porostech (řepka ozimá, hrách a jeho směsky) a případně jejich vzájemných asociací byla využita metoda *Spatial Analysis by Distance IndicEs* (SADIE). Metoda je podrobně popsána např. v [4, 5, 6]. Sběr dat (odpočty jedinců v pastech, na rostlinách, projevy poškození na rostlinách) v porostech probíhal vždy podle stejných zásad. Porost (často různá velikost: 1 - 16 ha; různý tvar vždy převeden na obdélník či čtverec za účelem grafického vyjádření výsledků) byl předem rozdělen pomyslnou pravoúhlou mřížkou typu 6 x 6. Podle velikosti porostu byla určena vzdálenost mezi jednotlivými hodnotícími místy (36 míst), každé hodnotící místo (odpočet) tak mělo svou jasnou polohu vyjádřitelnou polohou na ose y a x. Vždy dva SADIE indexy byly vyjádřeny pro jednotlivé sady dat (soubor odpočtů pořízených na konkrétní lokalitě v konkrétní termín). Index agregace  $I_a$  a index agregace  $J_a$  [7]. Hodnoty  $I_a$  vyšší než 1 (pro  $p < 0,05$ ) indikují agregaci jedinců v hodnoceném porostu, jejich shlukování do *clusterů* (plochy porostu výrazně více zatížené výskytem) a současně tvorbu *gapů* (části porostů signifikantně méně napadené, postižené). Za takovéto situace není distribuce jedinců určitého druhu v porostu rovnoměrná ani nerovnoměrná náhodně. Mezi jedinci existují vztahy, které je nutí k agregaci, tedy k vytváření určitého „*spatio pattern*“. Je-li za této situace absolutní hodnota druhého indexu agregace  $J_a$  blízká nebo nižší než 1 indikuje to přítomnost dvou či více clusterů ve sledovaném porostu. To lze v určitých případech (ne vždy) interpretovat jako např. přítomnost dvou nebo více ohnisek (zdrojů) napadení resp. šíření škodlivých organismů. Tato ohniska (*patch clusters*) lze pak přesně v porostech lokalizovat (určit jejich velikost, tvar, vzdálenost mezi nimi atd.) a graficky vyjádřit. Třetí SADIE index  $I_m$  byl využit při vzájemném sledování dvou populací (druhů) v jednom porostu. Hodnoty  $I_m$  větší než 1 (pro  $p < 0,05$ ) indikují vzájemnou prostorovou asociaci v distribuci dvou sledovaných druhů (např. škůdce a jeho parazitoid, škůdce a houbová choroba atd.). Pro výpočet SADIE byl využit software SADIEShell version 1.22, pro grafické vyjádření rozložení výskytů v porostech software Statistica version 8,0.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

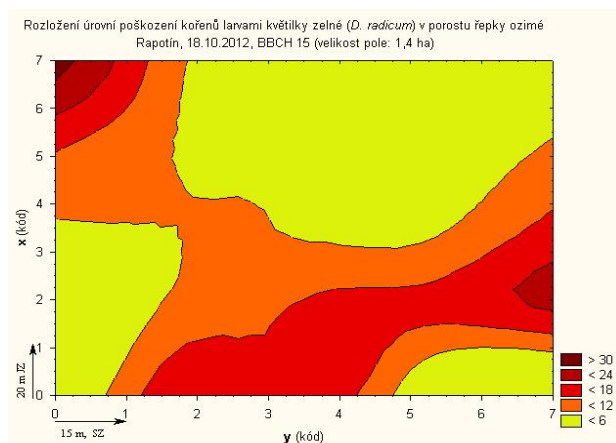
Z výsledků SADIE v tab. 1 je zřejmé, že distribuce larev květilky zelné (*Delia radicum*) v porostech řepky ozimé není homogenní ani náhodná. Na pěti ze šesti lokalit byli jedinci signifikantně agregováni do jednoho (Hrabenov, Hrabová, Libina) resp. dvou či více (Rapotín, Bludov) clusterů. To je dobře patrné i z grafů ilustrujících rozložení úrovní poškození kořenů larvami tohoto škůdce (Graf 1, 2).

Tab. 1 - Výsledky SADIE pro květilku kořenovou v porostech řepky ozimé na podzim roku 2012 v Olomouckém kraji. Stanoveno na základě hodnocení míry poškození kořenů larvami tohoto škůdce.

Tab. 1 Výsledky SADIE pro k. kořenovou v porostech řepky ozimé na podzim roku 2012 v Olomouckém kraji

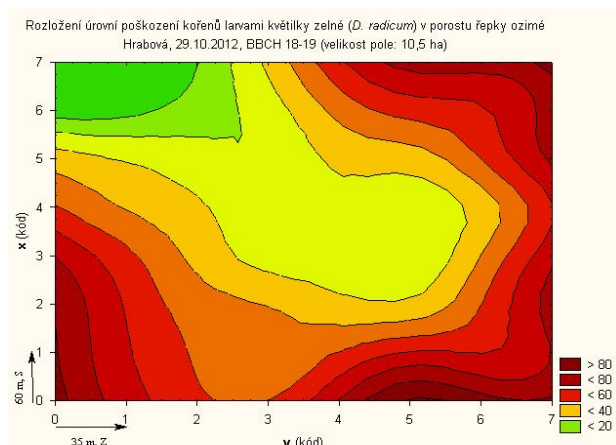
| Lokalita (datum ohodnocení) | velikost pole | průměrná poškozená plocha jednoho kořene larvami na lokalitě | Index agregace ( $I_a$ ) | Index agregace ( $J_a$ ) |
|-----------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Rapotín (18.10.12)          | 1,5 ha        | 6,91                                                         | 1,36*                    | 1,04                     |
| Hrabenov (25.10.12)         | 7,4 ha        | 8,17                                                         | 1,35*                    | 9,61*                    |
| Hrabová (29.10.12)          | 10,5 ha       | 10,84                                                        | 1,36*                    | 9,05*                    |
| Libina (29.10.12)           | 14,7 ha       | 8,79                                                         | 1,41*                    | 8,82*                    |
| Bludov (12.11.12)           | 24 ha         | 6,6                                                          | 1,45*                    | 1,12                     |
| Plinkout (15.11.12)         | 15 ha         | 6,68                                                         | 1,197                    | xxx                      |

\*v případě  $I_a$  indikuje signifikantní agregaci jedinců v porostu, v případě  $J_a$  indikuje existenci pouze jednoho clusteru



Graf 1 - Rozložení úrovní poškození kořenů larvami k. kořenové v porostu řepky ozimé v Rapotíně (18.10.2012).

Jedinci škůdce jsou signifikantně agregováni do dvou clusterů (viz tab. 1). Napadení tohoto porostu tedy probíhalo ze dvou front (ze dvou ohnisek).



Graf 2 - Rozložení úrovní poškození kořenů larvami k. kořenové v porostu řepky ozimé v Hrabové (29.10.2012).

Jedinci škůdce jsou signifikantně agregováni do jednoho výrazného clusteru (viz tab. 1). Napadení tohoto porostu tedy probíhalo z jedné fronty (z jednoho ohniska), i když je porost významně napaden na třech ze čtyř stran.

Jak vyplývá z výsledků SADIE uvedených v tabulce 2, distribuce jedinců různých druhů může být ve vzájemné prostorové asociaci. V tomto případě se jedná o významného škůdce hrachu mšici kyjátku hrachovou (*Acyrtosiphon pisum*) a některé její v porostech běžné přirozené nepřátele (parazitické vosičky a larvy pestřenek). Z výsledků je ale patrné, že tyto vztahy mohou být velmi výrazně ovlivněny charakterem porostu. V monokultuře hrachu je míra prostorové asociace mezi kyjátkou a jejími přirozenými nepřáteli mnohem nižší než ve směskách. To je patrné zejména ze vztahu mezi kyjátkou hrachovou a jejím parazitoidem *A. ervi*. Pro významné přirozené nepřátele je nalézat svého hostitele, kyjátku hrachovou, na



hrachu ve směskách jednodušší než na hrachu v monokultuře. Toto zjištění může sloužit jako vysvětlení, proč ve směskách nastává pokles populační dynamiky kyjatek dříve než v monokulturách /8,9/.

Tab. 2 - Vztah mezi distribucí kyjaty hrachové (*Acyrtosiphon pisum*) a jejími přirozenými nepřáteli (parazitoid *Aphidius ervi* a dravé larvy pestřenek *Syrphidae*) v různě vedených porostech hrachu (konvenčně ošetřovaná hrachová monokultura x směska hrachu s ovšem na ekologické farmě) v Rapotíně a Postřelmově v letech 2009 a 2010.

| rok  | populace                  | hrách monokultura;<br>konvenční způsob |                |                              | hrách x oves; ekologická<br>farma |                |                              |
|------|---------------------------|----------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
|      |                           | I <sub>a</sub>                         | J <sub>a</sub> | I <sub>m</sub>               | I <sub>a</sub>                    | J <sub>a</sub> | I <sub>m</sub>               |
| 2009 | <i>A. pisum</i>           | 1,73*                                  | 1,07           |                              | 1,49*                             | 1,91*          |                              |
|      | <i>A. ervi</i>            | 0,87                                   | xxx            | x <i>A. pisum</i> :<br>0,87  | 1,33*                             | 9,91*          | x <i>A. pisum</i> :<br>3,48* |
|      | larvy<br><i>Syrphidae</i> | 1,56*                                  | 9,95*          | x <i>A. pisum</i> :<br>0,93  | 1,71*                             | 3,05*          | x <i>A. pisum</i> :<br>3,93* |
| 2010 | <i>A. pisum</i>           | 2,65*                                  | 0,91           |                              | 1,57*                             | 1,57*          |                              |
|      | <i>A. ervi</i>            | 0,72                                   | xxx            | x <i>A. pisum</i> :<br>0,82  | 1,88*                             | xxx            | x <i>A. pisum</i> :<br>2,56* |
|      | larvy<br><i>Syrphidae</i> | 1,75*                                  | 1,33*          | x <i>A. pisum</i> :<br>1,32* | 1,58*                             | 1,12           | x <i>A. pisum</i> :<br>2,62* |

\*v případě I<sub>a</sub> indikuje signifikantní agregaci jedinců v porostu, v případě J<sub>a</sub> indikuje existenci pouze jednoho clusteru, v případě I<sub>m</sub> indikuje signifikantní míru asociace mezi dvěma populacemi (vždy pro p < 0,05)

## LITERATURA

- /1/ Kennedy, J.S.: The emerge of behaviour. Journal of the Australian Entomological Society, 11, 1972: 168 - 176.
- /2/ Taylor, L.R.: Synoptic dynamics, migration and the Rothamsted Insect Survey. Journal of Animal Ecology, 55, 1986: 1 - 38.
- /3/ Czárán, T., Bartha, S: Spatiotemporal dynamic models of plant population and communities. Trends in Ecology and Evolution, 7, 1992: 38 - 42.
- /4/ Perry, J.N.: Simulating spatial patterns of counts in agriculture and ecology. Computers and Electronics in Agriculture, 15, 1996: 93 - 109.
- /5/ Ferguson, A.W., Klukowski, Z., Walczak, B., Clark, S.J., Muggleston, M.A., Perry, J.N. and Williams, I.H.: Spatial distributions of pest insects in oilseed rape: implications for integrated pest management. Agriculture, Ecosystems & Environment, 95, 2003: 509 - 521.
- /6/ Ferguson, A.W., Williams, I.H., Klukowski, Z., Walczak, B. and Perry, J.N.: Spatial population dynamics of a pest and its parasitoid in an oilseed rape crop. Aspects of Applied Biology, 53, 1999: 1 - 6.
- /7/ Perry, J.N.: Measures of spatial pattern for counts. Ecology, 79, 1998, 1008 - 1017.
- /8/ Seidenglanz, M., Huňady, I., Poslušná, J., Loes., A.K.: Influence of intercropping with spring cereals on the occurrence of pea aphids (*Acyrtosiphon pisum* Harris, 1776) and their natural enemies in field pea (*Pisum sativum* L.). Plant Protect. Sci., 47, 2011: 25 - 36.
- /9/ Seidenglanz, M., Huňady, I., Poslušná, J., Loes., A.K. : Vliv jarních obilnin v luskovino-obilných směskách na vývoj výskytů kyjaty hrachové (*Acyrtosiphon pisum* Harris, 1776) a jejich přirozených nepřátel na hrachu (*Pisum sativum* L.). Vědecká příloha časopisu Úroda, 53, 2010: 47 - 52.

## Poděkování

Uvedené výsledky byly získány při řešení projektů MZe ČR NAZV č. QH81218, QJ1230077 a QH82027.



## VARIABILITA PRIEDUCHOVÝCH CHARAKTERISTÍK LISTOV PIATICH PROVENIENCIÍ BUKA LESNÉHO (*Fagus sylvatica* L.)

### *The variability of stomatal characteristics of leaves of five beech provenances (Fagus sylvatica L.)*

Miroslava Macková, Jaroslav Kmet'

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra fytoľogie, T. G. Masaryka 24,  
960 53 Zvolen, SR, miroslava.mackova@tuzvo.sk

#### **Summary**

Stomatal prints were taken of five beech provenance (*Fagus sylvatica* L.). Subsequently these prints were analysed in lab conditions. We detected the stomatal density (SD), stomatal pore width (W) and length (L). From of these parameters were calculated the stomatal pore surface (SPS) and the stomatal resistance (Rs). Based on these stomatal characteristics it seems to be the best german provenance, originating at 140 meters above sea level, and the polish provenance originating at 450 meters above sea level.

**Key words:** *Fagus sylvatica* L., stomatal characteristics, provenance research

#### **Súhrn**

Z piatich proveniencií buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) boli odoberané otláčky prieduchov, ktoré sa následne analyzovali v laboratórnych podmienkach. Zisťoval sa počet prieduchov na mm<sup>2</sup>, šírka a dĺžka prieduchovej štrbiny, z ktorých bola následne kalkulovaná plocha prieduchov a prieduchový odpor. Z analyzovaných proveniencií (2xnemecká, rakúska, poľská a slovinská) dosahuje najlepšie hodnoty prieduchových charakteristík nemecká proveniencia s pôvodom v 140 metroch nad morom, a poľská proveniencia s pôvodom v 450 metroch nad morom.

**Kľúčové slová:** *Fagus sylvatica* L., prieduchové charakteristiky, provenienčný výskum

## **ÚVOD**

Prieduch resp. stomata je štruktúra, ktorá sa nachádza v pokožkovom pletive asimilačných orgánov rastlín a zohráva dôležitú úlohu pri prijímaní CO<sub>2</sub> a pri transpirácii. Viacerí autori [1,2] dokázali, že prieduchové charakteristiky sú ovplyvňované stavom okolitého ovzdušia, preto zmeny v hustote, rozložení a morfológií prieduchov môžeme považovať za dôležité znaky charakterizujúce stav rastlín [3,4] v danom prostredí.

## **MATERIÁL A METÓDY**

Testované proveniencie (tab. 1) boli vybrané z provenienčnej plochy Tále, ktorá obsahuje celkovo 32 proveniencií buka lesného a nachádza sa na ploche VŠLP TU Zvolen. Táto plocha je súčasťou medzinárodného provenienčného pokusu s bukom, ktorý koordinuje

Spolkový lesnícký výskumný ústav v Grosshansdorfe, Nemecko. Výmera tejto plochy je 1,09 ha, nachádza sa v nadmorskej výške 800 metrov, v rovinnom teréne.

Tab. 1 Testované proveniencie buka lesného (*Fagus sylvatica* L.)

| NÁZOV<br>PROVENIENCIE  | KRAJINA   | NADMORSKÁ<br>VÝŠKA[m]<br>(pôvodná lokalita) |
|------------------------|-----------|---------------------------------------------|
| Farchaus 72 A (26 DE)  | Nemecko   | 55                                          |
| Belzig (30 DE)         | Nemecko   | 140                                         |
| Eisenerz (36 AT)       | Rakúsko   | 1100                                        |
| Jaworze 178 F (39 PL)  | Poľsko    | 450                                         |
| Postojna Javor (55 SI) | Slovinsko | 1040                                        |

Otlačky prieduchov každej proveniencie boli odoberané zo spodnej strany listov, za účelom stanoviť hustotu prieduchov (počet prieduchov na mm<sup>2</sup> listovej plochy, SD), plochu prieduchov (povrch široko otvorených prieduchových štrbín, μm<sup>2</sup>, SPS), relatívnu prieduchovú plochu (RSPS) a prieduchový odpor (Rs). Tieto parametre boli vypočítané podľa vzťahov, ktoré sú uvedené nižšie /4,5/.

Prieduchová plocha sa stanovila nasledovne:

$$SPS = \frac{L \times W \times \pi}{4}$$

pričom: SPS-plocha prieduchov (*stomatal pore surface*) [μm<sup>2</sup>], L-dĺžka prieduchovej štrbiny (*length*) [μm], W-šírka prieduchovej štrbiny (*width*) [μm].

Následne bola vypočítaná relatívna prieduchová plocha [RSPS, %] :

$$RSPS = (SPS \times SD) \times 100$$

pričom: SD-hustota prieduchov (*stomatal density*) [počet prieduchov/mm<sup>2</sup>].

Odpor prieduchov Rs (*stomatal resistance*) [sm<sup>-1</sup>]:

$$Rs = \frac{4 \times l}{SD \times \pi \times L \times W \times D} + \frac{L + W}{4 \times SD \times L \times W \times D}$$

pričom: l- hĺbka prieduchovej štrbiny [10<sup>-5</sup> m], D-difúzna konštanta vodnej pary vo vzduchu [24,2x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> pri 20 °C] /6/.

Pomocou nainštalovaných meracích zariadení boli kontinuálne zaznamenávané teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, globálna radiácia a pôdna vlhkosť. Počas odberu listov, ani v dlhšej časovej perióde pred tým, sa na danom území nevyskytli žiadne klimatické extrémny.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priemerné hodnoty zisťovaných prieduchových charakteristík a ich smerodajné odchylky sú uvedené v tabuľke nižšie.

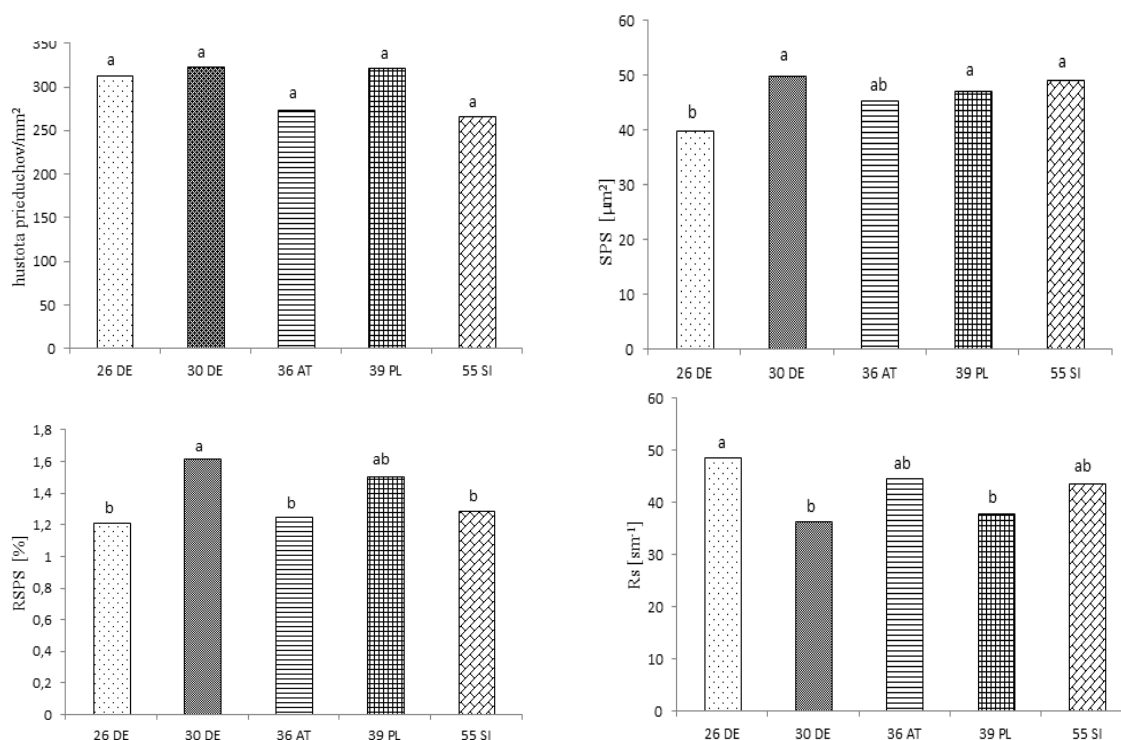
Rozdiely priemerných hodnôt parametra hustoty prieduchov neboli ani pri jednej z analyzovaných proveniencií štatisticky významne (obr. 1). Druhým hodnoteným

parametrom, charakterizujúcim stav prieduchov bola plocha (otvorených) prieduchov. Tento parameter dosiahol rovnako ako predchádzajúci najvyššie hodnoty pri proveniencií 30 DE, kde prekročil hodnoty proveniencie SI o 1,5%, proveniencie 39 PL o 5,1%, proveniencie 36 AT o 8,9% a proveniencie 26 DE o 20,1%.

Tab. 2 Priemerné hodnoty prieduchových charakteristík a ANOVA.

| PROVENIENCIA | SD [prieduchy/mm <sup>2</sup> ] | SPS [μm <sup>2</sup> ] | RSPS [%]      | Rs [sm <sup>-1</sup> ] |
|--------------|---------------------------------|------------------------|---------------|------------------------|
| 26 DE        | 313,17±72,58                    | 39,81±13,64            | 1,22±0,41     | 48,79±16,37            |
| 30 DE        | 323,67±76,15                    | 49,84±6,74             | 1,62±0,46     | 36,41±8,80             |
| 36 AT        | 273,83±31,84                    | 45,40±4,00             | 1,25±0,22     | 44,75±7,30             |
| 39 PL        | 321,83±77,15                    | 47,29±5,73             | 1,51±0,33     | 37,89±7,58             |
| 55 SI        | 266,83±51,29                    | 49,08±6,43             | 1,29±0,21     | 43,77±7,05             |
| DF           | 4                               | 4                      | 4             | 4                      |
| F            | 1,812                           | 2,493                  | 2,687         | 2,581                  |
| p            | 0,143                           | 0,056                  | <b>0.043*</b> | <b>0.050*</b>          |

SD-hustota prieduchov, SPS-prieduchová plocha, RSPS-relatívna prieduchová plocha, Rs-odpor prieduchov, DF-počet stupňov voľnosti, F-kritická hodnoty, p-miera nepravdepodobnosti rozdielnosti.



Obr. 1 Priemerné hodnoty jednotlivých charakteristík prieduchov pre jednotlivé proveniencie (odlišné písmena v grafe naznačujú významnosť rozdielov priemerných hodnôt jednotlivých proveniencií na hladine  $\alpha=0,05$ ) (post-hoc Duncan-test).

V relatívnom vyjadrení dosahuje parameter charakterizujúci plochu prieduchov podobné hodnoty ako v absolútnom vyjadrení. Najvyššiu priemernú hodnotu relatívnej prieduchovej vodivosti dosahujú buky proveniencie 30 DE, táto je v porovnaní

s provenienciou 39 PL vyššia o 6,8 %, s provenienciou 55 SI o 20,4 %, s provenienciou 36 AT o 22,8 % a s provenienciou 26 DE o 24,7 %.

Stomatálny odpor (Rs), ako parameter vyjadrujúci rozsah inhibície prenikania vzduchu cez prieduchy /4/, dosahoval najvyššiu priemernú hodnotu pri bukoch proveniencie 26 DE, ostatné proveniencie oproti tejto dosahujú menšie hodnoty o 8,3% pri 36 AT, 10,3% pri 55 SI, 22,3 % pri 39 PL a 25,4% pri proveniencii 30 DE.

Ak by sme teda mali zhodnotiť stav prieduchového aparátu nami analyzovaných proveniencií, na základe spomenutých prieduchových charakteristík, mohli by sme konštatovať, že najlepšie hodnoty dosahovala nemecká proveniencia, s pôvodom v nadmorskej výške 140 metrov nad morom a poľská proveniencia s pôvodom v 450 metroch nad morom. Charakteristiky prieduchov, na posúdenie fyziologického stavu drevín buka (*Fagus sylvatica* L.) /7/ alebo vrbu (*Salix alba* L.) /8/ využilo vo svojich prácach viacero autorov.

#### LITERATÚRA

- /1/ Pal, A., Kulshreshtha, K., Ahmad, K. J., Behl, H. M.: Do leaf surface characters play a role in plant resistance to auto-exhaust pollution? *Flora*, 197, 2002: 47–55.
- /2/ Alves, E. S., Moura, B. B., Domingos, M.: Structural analysis of *Tillandsia usneoides* L. exposed to air pollutants in Sao paulo city-Brazil. *Water Air Soil Pollution*, 189, 2008: 61–68.
- /3/ Bettarini I., Vaccari, P., Miglietta F.: Elevated CO<sub>2</sub> concentrations and stomatal density: observations from 17 plant species growing in a CO<sub>2</sub> spring in central Italy. *Global Change Biology*, 4, 1998: 17–22.
- /4/ Balasooriya, B. L. W. K., Samson, R., Mbikwa, F., Vitharana, U. W. A., Boeckx, P., Van Meirvenne, M.: Biomonitoring of urban quality by anatomical and chemical leaf characteristics. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 2009: 386–394.
- /5/ Kardel, F., Wuyts, K., Babanezhad, M., Vitharana, U. W. A., Wuytack, T., Potters, G., Samson, R.: Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of *Plantago lanceolata* L. *Environmental Pollution*, 158, 2010: 788–794.
- /6/ Olyslaegers, G., Nijs, I., Roebben, J., Kockelbergh, F., Vanasche, F., Laker, M., Verbelen, J.P., Samson, R., Lemeur, R., Impens, I.: Morphological and physiological indicators of tolerance to atmospheric stress in two sensitive and two tolerant tea clones in South Africa. *Experimental Agriculture*, 38, 2002: 397–410.
- /7/ Closa, I., Irigoyen, J. J., Goicoechea, N.: Microclimatic conditions determined by stem density influence leaf anatomy and leaf physiology of beech (*Fagus sylvatica* L.) growing within stands that naturally regenerate from clear-cutting. *Trees*, 24, 2010: 1029–1043.
- /8/ Wuytack, T., Verheyen, K., Wuyts, K., Kardel, F., Adriaenssens, S., Samson, R.: The potential Of biomonitoring of air quality using leaf characteristics of white willow (*Salix alba* L.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 171, 2010: 197–204.

#### Pod'akovanie

Za pomoc so štatistickým vyhodnotením údajov Ing. Gabriele Jamnickej, PhD. Za finančnú pomoc podpore z grantov APVV – 0436-10, APVV – 0423-10 a VEGA – 2/0006/11.

## **PREMRŽANIE PÔDY V REGIÓNE PODUNAJSKÁ NÍŽINA**

### ***SOIL FREEZING IN THE DANUBE LOWLAND REGION***

Mária Tekušová, Viera Horecká, Ľubica Jančovičová, Viera Jakubíková

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 83315 Bratislava, Slovenská republika,  
maria.tekusova@shmu.sk

#### ***Summary***

The paper visualized and analyzed the results of the long-term measurements of the soil freezing in the region Danubian Lowland represented by the measurements at the agroclimatological station Hurbanovo. There are analyzed monthly extremes of the depth and the duration of the soil freezing and their connection to the duration and the amount of snow cover during the cold period of years 1966 - 2012. The temperature and the precipitation conditions in the soil and on its surface are analyzed in the daily step in the cold period 1998 - 2012.

*Key words: soil freezing, soil temperature, state of the ground, air temperature, snow cover*

#### ***Súhrn***

V článku sú vizualizované a analyzované výsledky dlhodobých meraní premržania pôdy v regióne Podunajská nížina reprezentovaného meraniami na agroklmatologickej stanici Hurbanovo. Analyzujú sa mesačné extrémny hĺbky a trvania premržania pôdy a ich väzby na trvanie a výšku snehovej pokrývky v chladnom období rokov 1966 – 2012. Teplotné a zrážkové pomery v pôde a na jej povrchu sú analyzované v dennom kroku v chladnom období rokov 1998 – 2012.

*Kľúčové slová: premržanie pôdy, teplota pôdy, stav povrchu pôdy, teplota vzduchu, snehová pokrývka*

## **ÚVOD**

Premržanie pôdy je tuhnutie pôdneho roztoku pri poklese teploty pod jeho bod mraznutia. Hĺbka premržania pôdy závisí okrem intenzity mrazov a doby ich trvania na type a spracovaní pôdy a na jej pokrytí snehom, vegetáciou ako i reliéfu. Hĺbku premržania pôdy výrazne zvyšuje dlhodobý pokles teplôt vzduchu, hlavne v pôde bez snehovej pokrývky a rastlinného krytu. Informácie o hĺbke a trvaní premrznutia pôdy sú dôležité hlavne na posúdenie nebezpečenstva poškodenia koreňovej sústavy rastlín, čo môže podstatne ovplyvniť ich úrodu /1/.

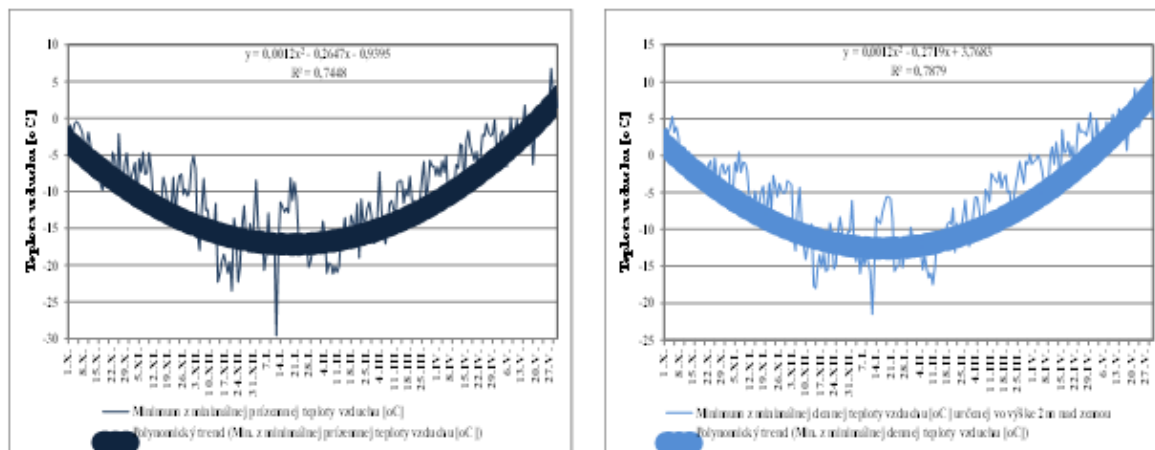
Premržanie pôdy v jednotlivých regiónoch kolíše z roka na rok (napr. Graf 7 a Graf 8), pričom v rokoch s extrémnym dlho trvajúcim premržaním pôdy môže byť príčinou úplného vymrznutia rastlín, a to aj v regiónoch agroklmaticky štandardne vhodných pre pestovanie určitého druhu rastlín.

## MATERIÁL A METÓDA

Základné spracovávané agroklimatologické charakteristiky sú databázové údaje SHMÚ v Bratislave, ktoré boli namerané v Hurbanove v chladnom období rokov 1966 – 2012. Metodiky ich štatistického spracovania sú podrobne popísané v prácach /2 – 4/. Premrzanie pôdy bolo merané štandardnou manuálnou metódou podľa doporučení WMO /5/.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky dlhodobých meraní premrzania pôdy pod trávnatým povrchom a s nimi súvisiacimi agroklimatologickými charakteristikami v regióne Podunajská nížina reprezentovanej klimatologickou stanicou Hurbanovo (115 m n.v.) sú zverejnené na grafoch 1 – 10. Z nich vyplýva, že pokles minimálnej teploty vzduchu vo výške 2 m a minimálnej prízemnej teploty vzduchu pod 0 °C nastáva už v prvej dekáde októbra a končí (zriedkavo) v polovici mája (Graf 1 a Graf 2).



Graf 1: Ročný chod absolútnej minimálnej prízemnej teploty vzduchu v Hurbanove v chladnom období 1998/1999 – 2011/2012.

Graf 2: Ročný chod absolútnej minimálnej teploty vzduchu v Hurbanove v chladnom období rokov 1998/1999 – 2011/2012.

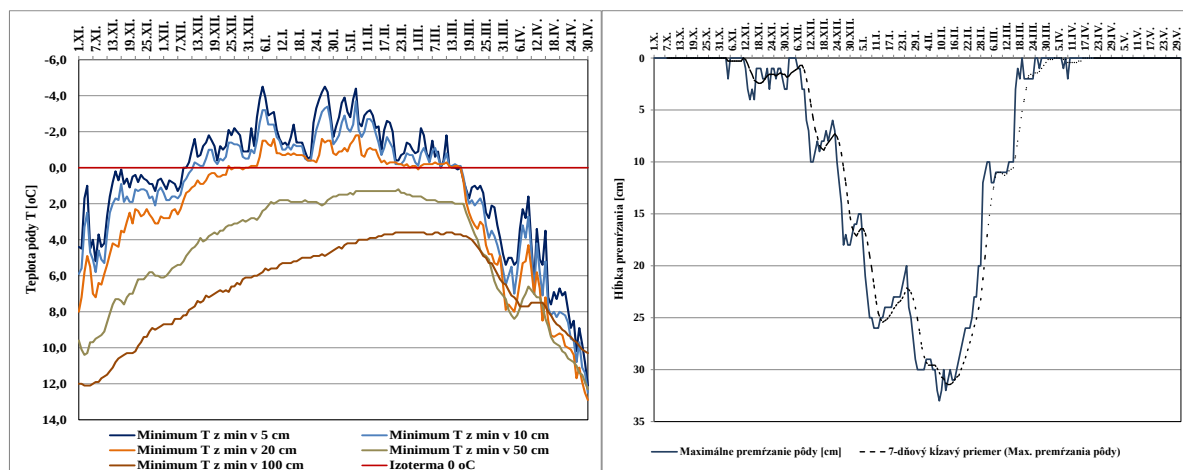
V ostatných 14-tich rokoch boli na klimatologickej stanici Hurbanovo namerané premrzania pôdy do hĺbky 1 cm a viac najskôr až začiatkom novembra a premrzanie končilo v polovici apríla (Graf 4).

Reprezentatívnou charakteristikou pre určenie predpokladu premrzania pôdy sú aj merania pôdnej teploty v štandardne meraných hĺbkach 5, 10, 20 a 50 cm (Graf 3), ktorých výsledky sú v zhode s priamym meraním premrzania pôdy.

Vplyv snehovej pokrývky na hĺbku a trvanie premrzania pôdy vyjadrujú Grafy 5 a Graf 6.

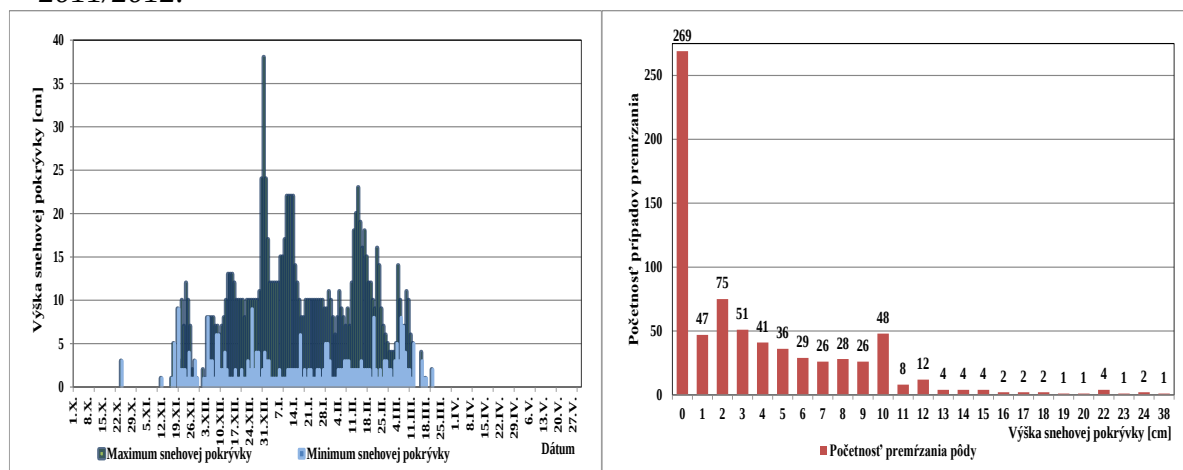
Graf 5 vyjadruje ročný chod extrémnych hodnôt celkovej výšky snehovej pokrývky (maximum, minimum) a poukazuje na ich veľké rozkolísanie v ročnom chode v jednotlivých rokoch.

Výsledky hodnotenia uvedené na Grafe 6 sú dôkazom o nepriamej úmernosti medzi početnosťou výskytu maximálneho premrzania pri určitej, nameranej výške snehovej pokrývky v Hurbanove v chladnom období rokov 1998/1999 – 2011/2012.



Graf 3: Ročný chod dennej minimálnej teploty pôdy v hĺbkach 5, 10, 20, 50 a 100 cm v Hurbanove v období 1998–2012.

Graf 4: Ročný chod maximálneho premrzania pôdy v Hurbanove v období rokov 1998/1999 – 2011/2012.



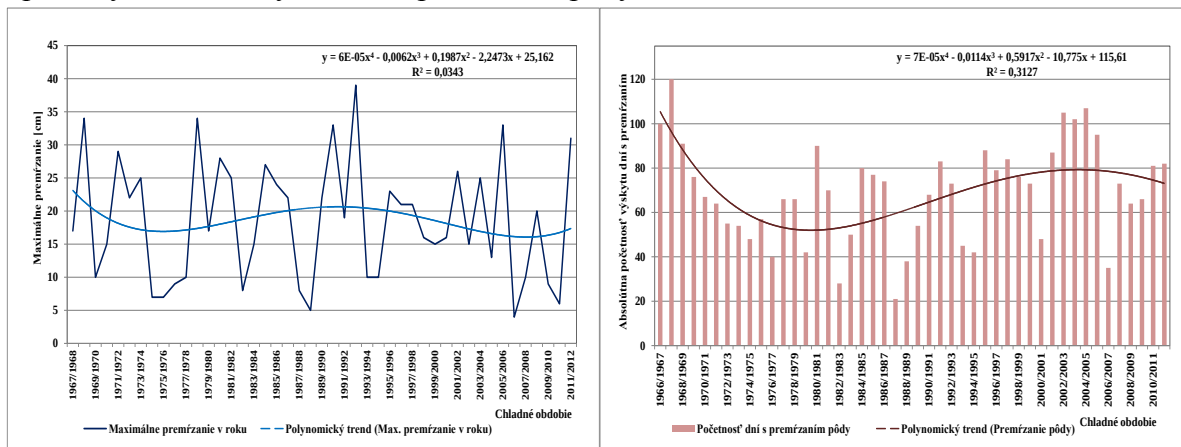
Graf 5: Ročný chod extrémov celkovej výšky snehovej pokrývky v Hurbanove v chladnom období rokov 1998/1999 – 2011/2012.

Graf 6: Početnosť extrémnych prípadov premrzania pôdy pre rôzne výšky snehovej pokrývky v Hurbanove v období 1998 – 2012.

Dlhodobý chod maximálneho premrzania pôdy a absolútnej početnosti výskytu premrzania pôdy v regióne Podunajská nížina je vyhodnotený pre chladné obdobia rokov (od novembra po apríl nasledujúceho roku) 1966 – 2012 (Graf 7 a Graf 8). V ostatných 14-tich podrobne analyzovaných rokoch pozorujeme zvýšený počet dní s premrzaním pôdy počnúc od zimy 2001/2002 i s ich výrazným poklesom v nadpriemerne teplej zime v roku 2006/2007 a opätovným nárastom počtu dní s premrzaním od zimy 2007/2008 (Graf 8). Absolútne najhlbšie premrzanie pôdy sa v sledovanom období vyskytlo v zime 2005/2006 a najmenej premrznutá pôda bola v zime 2006/2007 (Graf 7).

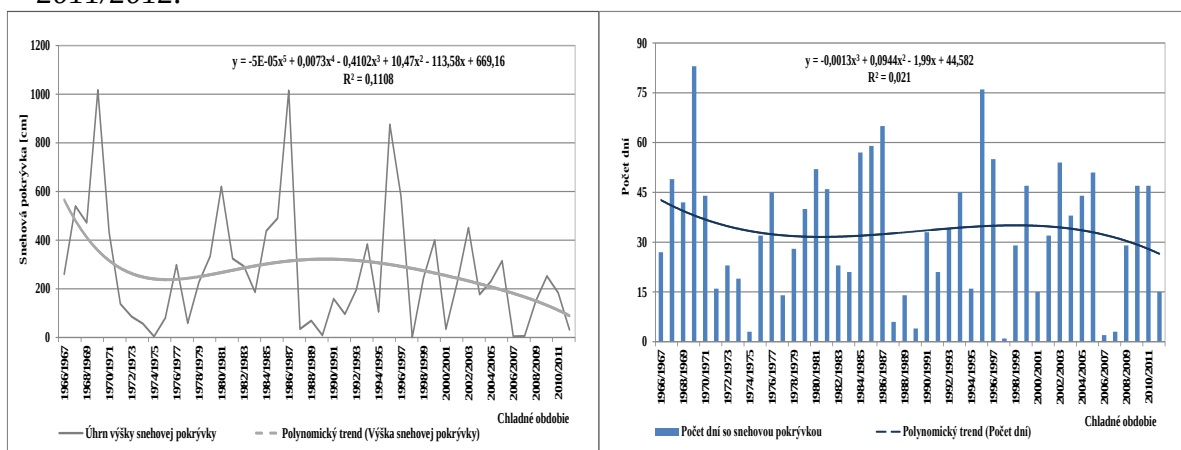
Nakoľko okrem teplotných pomerov regiónu na premrzanie pôdy podstatne vplýva výskyt a výška snehovej pokrývky, urobili sme aj ich analýzu dlhodobého chodu. Dlhodobé rady maximálnej výšky a početnosti výskytu celkovej snehovej pokrývky s výškou viac ako 1 cm v Hurbanove v zimnom období 1966 – 2012 sú vizualizované na grafoch 9 a 10.

V ostatných 14-tich rokoch sa minimálna výška snehovej pokrývky vyskytovala v teplej zime 2006/2007, ale aj o rok neskôr, s čím súvisí skokový nárast hĺbky premrzania pôdy v zime 2007/2008. V regióne Podunajská nížina pozorujeme v ostatných rokoch výrazný pokles maximálnej výšky snehovej pokrývky oproti predchádzajúcemu obdobiu, s čím súvisí aj opätovný nárast hĺbky a trvania premrzania pôdy.



Graf 7: Dlhodobý chod maximálneho premrzania pôdy v chladnom období 1966/1967 - 2011/2012.

Graf 8: Dlhodobý chod počtu dní s premrzaním pôdy v chladnom období 1966/1967 - 2011/2012.



Graf 9: Dlhodobý chod celkovej výšky snehovej pokrývky v Hurbanove v chladnom období 1966/1967 - 2011/2012.

Graf 10: Dlhodobý chod počtu dní so snehovou pokrývkou v Hurbanove v období 1966/1967 - 2011/2012.

## LITERATÚRA

- 1/ Jakubíková, V., Vinceová, A.: Vplyv klímy na úrodu repky ozimnej (BRASSICA NAPUS L.) v Slovenskej republike. Úroda, vedecká príloha, 10, 2011: 138-142
- 2/ Tekušová, M., Horecká, V., Jančovičová, L.: Stav povrchu pôdy vo vzťahu k zrážkomerným charakteristikám počas vegetačných období v Hurbanove. Úroda, vedecká príloha, 10, 2011: 629-639
- 3/ Tekušová, M., Horecká, V., Jančovičová, L.: Evaluation of Soil Temperature in Hurbanovo. In: "BIOCLIMATE 2012" Bioclimatology of Ecosystems, International Scientific Conference, Conference proceedings, Ústí nad Labem, August 29st-31st 2012, 2012: 128-129
- 4/ Tekušová, M., Horecká, V., Jančovičová, L.: Bioclimatological characteristics of air and soil temperatures in Hurbanovo. 20-th International Poster Day, "Transport of Water, Chemical and Energy in the System Soil - Plant - Atmosphere", Bratislava, 2012: 791-804
- 5/ WMO: Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP). 2010 Edition (WMO-No.134), Updated in 2012.



## **VLIV OZÁŘENOSTI NA KONCENTRACI FOTOSYNTETICKÝCH PIGMENTŮ ČTYŘLETÝCH KLONŮ SMRKU ZTEPILÉHO**

### ***EFFECT OF IRRADIATION ON THE CONCENTRATION OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF FOUR-YEAR NORWAY SPRUCE CLONES***

Denis Pivoňka, Václav Krpeš,

Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra biologie a ekologie,  
Chittussiho 10, 701 00 Ostrava, vaclav.krpes@osu.cz

#### ***Summary***

Important physiological information for assessing the effects of radiation as a stress factor on the plant will be obtained by determining the concentration of photosynthetic pigments. The experimental material of Norway spruce *Picea abies* (L.) KARST was divided into two groups where the first one was exposed to FAR, UVA and UVB radiation while the second was referential. The content of chlorophyll **a**, chlorophyll **b**, overall carotenoids,  $\beta$ -carotene and lutein was measured in first-year needles and in needles of spring shoots. After a 14-day exposure, an increase of content of all pigments was observed in the case of the first-year needles of both groups. In the needles of the spring shoots, an increase in the content of chlorophyll **a**, total carotenoids,  $\beta$ -carotene and a decrease of chlorophyll **b** and lutein was observed.

*Key words: Norway spruce, Picea, abies, chlorophylls, carotenoids, change of pigment's content, stress factor, effect of radiation, PAR, UVA, UVB*

#### ***Souhrn***

Důležitou fyziologickou informací pro posouzení vlivu záření, jako stresového faktoru na rostlinu, získáme stanovením koncentrace fotosyntetických pigmentů. Experimentální materiál smrku ztepilého *Picea abies* (L.) KARST. Byl rozdělen do dvou skupin, kdy první byla vystavena záření FAR, UVA a UVB, přičemž skupina druhá byla srovnávací. Sledován byl obsah chlorofylu **a**, chlorofylu **b**, celkových karotenoidů,  $\beta$ -karotenu a luteinu v jehlicích nultých a prvních ročníků. Po 14 denní expozici byl zaznamenán vzrůst obsahu všech sledovaných pigmentů v případě jednoletých jehlic obou skupin. U jehlic nultého ročníku byl pozorován nárůst obsahu chlorofylu **a**, celkových karotenoidů,  $\beta$ -karotenu a současně snížení obsahu chlorofylu **b** a luteinu.

*Klíčová slova: smrk ztepilý, Picea abies, chlorofyly, karotenoidy, změna obsahu pigmentů, stresový faktor, vliv záření, FAR, UVA, UVB*

## **ÚVOD**

Smrk ztepilý náleží mezi dřeviny, které mají ve vyšších nadmořských výškách mimořádný význam pro plnění mimoprodukčních funkcí lesa. Ve vyšších nadmořských výškách jsou vystaveny vysokým intenzitám slunečního záření za spolupůsobení dalších nepříznivých abiotických faktorů, které negativně ovlivňují jejich zdravotní stav. Obzvláště za letních slunných dnů působí vyšší intenzita záření v krátkých vlnových délkách vznik

reaktivních kyslíkatých částic, které vyvolávají oxidaci mezofylových pletiv v jehlicích smrků /2,3,4/. Pro analýzu fotosyntetických pigmentů byl použit klonovaný experimentální materiál horského smrku (původ CZ-2-2B-SM-963-21-8-L). Hlavním cílem experimentu bylo posoudit kauzální vztah mezi programovaně nastavenou dávkou záření a reakcí zkoumaných jedinců na měnící se koncentraci fotosyntetických pigmentů.

## MATERIÁL A METODA

Experimentální materiál byl autovegetativně množen v lesní školce Řečany n. Labem. Jednalo se o 120 klonů výškově a tloušťkově diferencovaných. Velikostní rozdíl mezi nejmenším (11,5 cm) a největším (22 cm) jedincem činil 10,5 cm.

Sazenice byly rozčleněny na dvě skupiny, z nichž první skupina byla vystavena záření v expoziční komoře a druhá (kontrolní) ponechána ve volném prostředí.

Kultivační prostředí bylo programově nastaveno v růstové komoře (BioLine VB1014, Vötsch, Německo) na nízkou intenzitu záření FAR a UV. V prvním týdnu hodnota FAR (intenzita  $250 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) a UVA ( $8 \text{ W.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). UV-A lampy: Actinic BL TL-D 18W, Philips). Ve druhém týdnu nastalo zvýšení radičního režimu o záření UVB ( $5 \text{ W.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , UV-B lampy: TL 20W/12 RS SLV, Philips). První část (60 klonů) byla exponována ve dvou týdenních cyklech. Po týdenním ozařování FAR a UVA byla provedena druhá analýza jehlic nultého ročníku (jarní letorost) obou skupin. Současně byl pokusný materiál dále exponován FAR, UVA a nově i UVB zářením.

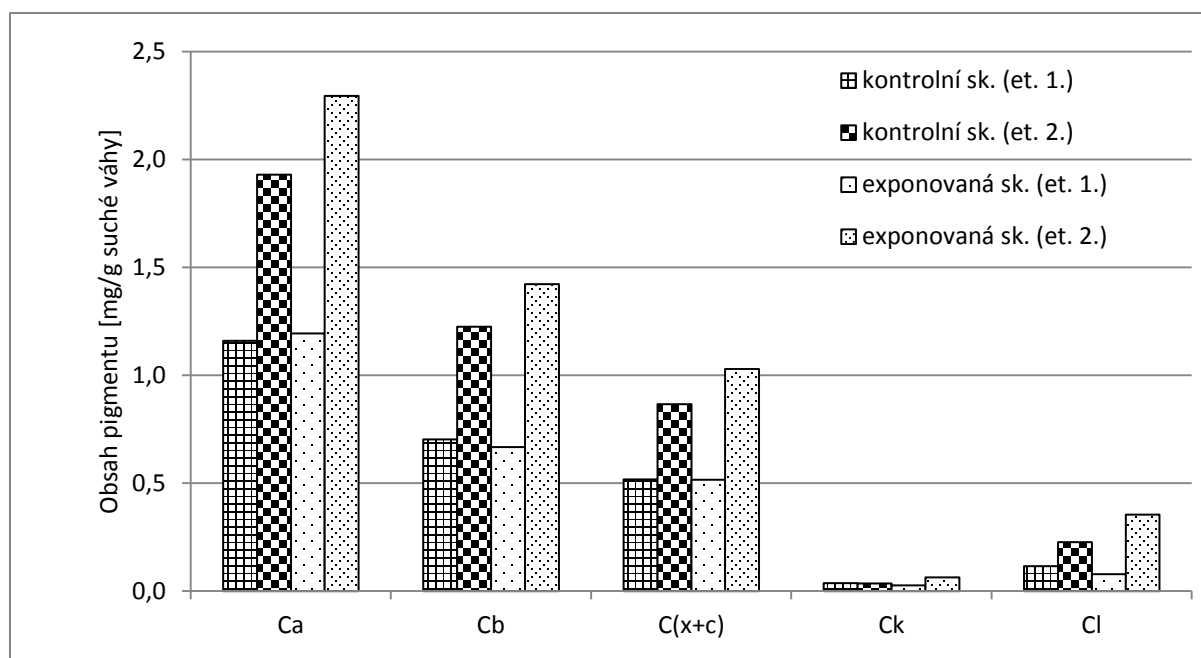
Vzorky byly extrahovány do acetonu po inaktivaci enzymů a separovány TLC metodou. Následovala zpětná eluce a spektrofotometrické stanovení fotosyntetických pigmentů /1/.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 1, 2) a přehledných grafech (Obr. 1, 2). Na Obr. 1 pozorujeme u jednoletých jehlic patrný nárůst fotosyntetických pigmentů, který se projevil po působení UVA záření, což odpovídá literatuře /5,6/. Během 7 dnů se ukazuje stimulační vliv UVA záření na biosyntézy chlorofylu  $\alpha$ , jehož koncentrace narostla během uvedené krátké doby z 1,1601 na 1,9307  $\text{mg.g}^{-1}$  suché váhy (Tab. 1). U obou skupin byl rovněž zaznamenán nárůst celkových karotenoidů. Koncentrace  $\beta$ -karotenu a luteinu byla mírně vyšší u kontrolní skupiny vzhledem k exponovaným jedincům.

Tab. 1 Průměrné hodnoty koncentrací ( $\text{mg.g}^{-1}$  s. v.) fotosyntetických pigmentů před (etapa 1.) a po expozici (etapa 2.) FAR a UVA zářením obou sledovaných skupin v jehlicích prvního ročníku.

| Skupina    | etapa | Koncentrace [ $\text{mg.g}^{-1}$ suché váhy] |        |             |        |        |
|------------|-------|----------------------------------------------|--------|-------------|--------|--------|
|            |       | $C_a$                                        | $C_b$  | $C_{(x+c)}$ | $C_k$  | $C_l$  |
| kontrolní  | 1.    | 1,1601                                       | 0,7026 | 0,5184      | 0,0364 | 0,1164 |
|            | 2.    | 1,9307                                       | 1,2259 | 0,8662      | 0,0356 | 0,2269 |
| exponovaná | 1.    | 1,1945                                       | 0,6682 | 0,517       | 0,0273 | 0,0781 |
|            | 2.    | 2,2958                                       | 1,4225 | 1,0295      | 0,0639 | 0,354  |



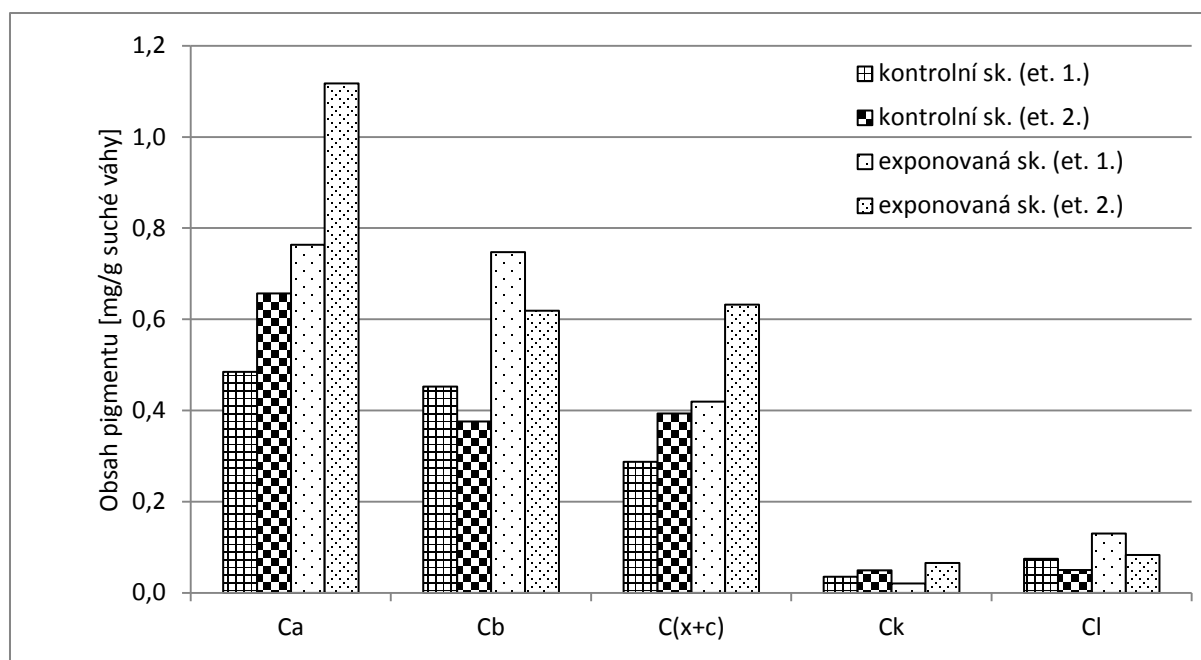
Obr. 1: Výsledné koncentrace ( $\text{mg.g}^{-1}$  s. v.) fotosyntetických pigmentů jehlic prvního ročníku exponované a kontrolní skupiny před (etapa 1.) a po ozáření (etapa 2.) FAR a UVA radiací.

V další etapě měření, kdy byly experimentálně zvýšeny dávky UVB radiace na  $5 \text{ W.m}^{-2}$ , stouply hodnoty koncentrace všech pigmentů (Tab. 2). Největší nárůst byl pozorován u chlorofylu **a** a luteinu. U  $\beta$ -karotenu je setrvalý stav koncentrace, což odpovídá očekávání při vyšší zátěži oxidačním stresem, kdy se  $\beta$ -karoten v plnění své obranné funkce na stres spotřebovává. Výjimkou je nečekané snížení koncentrace chlorofylu **b** a luteinu [3], které nastalo jak u exponovaných jedinců, tak u kontrolní skupiny nultého ročníku jehlic (Tab. 2).

Po krátkodobém působení stresu se projevil stimulační vliv nárůstu chlorofylu **a** u obou ročníků jehlic, zatímco u chlorofylu **b** došlo k poklesu koncentrací na mladých nultých ročnících jehlic vyrašeného letorostu. Radiční stres nezpůsobil viditelné barevné změny na povrchu jehlic.

Tab. 2 Průměrné hodnoty koncentrací ( $\text{mg.g}^{-1}$  s. v.) fotosyntetických pigmentů před (etapa 1.) a po expozici (etapa 2.) FAR, UVA a UVB zářením obou sledovaných skupin v jehlicích nultého ročníku.

| Skupina    | etapa | Koncentrace [ $\text{mg.g}^{-1}$ suché váhy] |                |                    |                |                |
|------------|-------|----------------------------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
|            |       | C <sub>a</sub>                               | C <sub>b</sub> | C <sub>(x+c)</sub> | C <sub>k</sub> | C <sub>l</sub> |
| kontrolní  | 1.    | 0,4852                                       | 0,4524         | 0,2877             | 0,0358         | 0,075          |
|            | 2.    | 0,7637                                       | 0,7473         | 0,4197             | 0,0206         | 0,1301         |
| exponovaná | 1.    | 0,6567                                       | 0,3763         | 0,3935             | 0,0495         | 0,05           |
|            | 2.    | 1,1181                                       | 0,6193         | 0,6325             | 0,0656         | 0,083          |



Obr. 2: Výsledné koncentrace ( $\text{mg.g}^{-1}$  s. v.) fotosyntetických pigmentů jehlic nultého ročníku exponované a kontrolní skupiny před (etapa 1.) a po ozáření (etapa 2.) FAR, UVA a UVB radiací.

## LITERATURA

- /1/ Lichtenthaler, H. K., C., Buschmann. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. Curr. Protoc. Food Analyt. Chem. F4.3.1.-F4.3.8. 2001.
- /2/ Jahns, P. a A. R. Holzwarth. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. Biochimica et Biophysica Acta. 1817, 2011: 182–193.
- /3/ Krpeš, V. Research on Norway Spruce Growth (*Picea abies*) under Difficult Circumstances of the Beskydy mts. climate. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita, 2002: 119 s.
- /4/ Ahmad, P. a M. Prasad. Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. New York: Springer, 2012: 473 s.
- /5/ Tezuka, T., F.Yamaguchi a Y.Ando. Physiological activation in radish plants by UV-A radiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 24, 1994: 33–40.
- /6/ Xu, J. a K. Gao. UVA enhanced growth and UV-B induced positive effects in the recovery of photochemical yield in *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta). Journal of Photochemistry and Photobiology B-biology - J PHOTOCHEM PHOTOBIOLOG B-BIOL. 100, 2010: 117-122.

## Poděkování

Tato práce byla podpořena agenturou NAZV Praha, výzkumným projektem č. QI112A170 „Možnosti cíleného pěstování a využití geneticky hodnotných částí populací sadebního materiálu smrku ztepilého s klimaxovou strategií růstu pro horské oblasti“.

## **CHARAKTERIZACE ROZDÍLNÉ REAKCE HALOFYTU *THELLUNGIELLA HALOPHILA* A *ARABIDOPSIS THALIANA* NA SOLNÝ STRES**

### ***CHARACTERIZATION OF DIFFERENCES IN SALT STRESS RESPONSE OF HALOPHYTE THELLUNGIELLA HALOPHILA AND ARABIDOPSIS THALIANA***

Sylva Prerostová<sup>1,2</sup>, Petre Dobrev<sup>1</sup>, Alena Gaudinová<sup>1</sup>, Radomira Vanková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav experimentální botaniky AV ČR, v. v. i., Rozvojová 263, 165 02 Praha 6 – Lysolaje

<sup>2</sup> Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Viničná 5, Praha 2, 128 44, prerostova@ueb.cas.cz

#### **Summary**

Plant stress response is regulated by phytohormones. The levels of phytohormones were compared between salt-sensitive *Arabidopsis thaliana* and its halophytic close relative *Thellungiella halophila*. *Thellungiella* had higher content of stress hormone abscisic acid under control conditions. It had higher level of auxin in apices and leaves and lower amount of cytokinins in apices. During high salt stress, plants responded in different way: *Arabidopsis* gradually faded and died from apices, while *Thellungiella* preferentially protected apices and the leaves started early senescence, probably due to salt accumulation. Hormone analyses indicate, that abscisic acid and *cis*-zeatin play the main role in salt stress responses. Cytokinin *cis*-zeatin exhibits relatively low physiological activity, but seems to play a role in abiotic stress responses.

**Key words:** cytokinin, abscisic acid, indole-3-acetic acid, salinity, *Arabidopsis thaliana*, *Thellungiella halophila*

#### **Souhrn**

Stresová odpověď rostlin je regulována fytohormony. Porovnáním hladin fytohormonů mezi *Arabidopsis thaliana*, která je citlivá vůči zasolení, a jejím halofytním příbuzným druhem *Thellungiella halophila* bylo zjištěno, že *Thellungiella* má za kontrolních podmínek vyšší obsah stresového hormonu kyseliny abscisové, zvýšenou hladinu auxinu v apexech a v listech a naopak nižší množství cytokininů v apexech. Při silném zasolení se reakce obou druhů rostlin lišila: *Arabidopsis* postupně vadla a odumírání začínalo od apexů, zatímco *Thellungiella* přednostně chránila apexy a listy podléhaly předčasné senescenci, zřejmě z důvodu akumulace soli. Analýzy hormonů ukázaly, že významnou roli při obraně proti solnému stresu hraje především kyselina abscisová a také cytokinin *cis*-zeatin, cytokinin s nižší fyziologickou aktivitou, který hraje důležitou roli při odezvách na abiotické stresy.

**Klíčová slova:** cytokinin, kyselina abscisová, kyselina indol-3-octová, solný stres, *Arabidopsis thaliana*, *Thellungiella halophila*

#### **ÚVOD**

Zasolením je znehodnoceno asi 20 % zemědělské půdy na světě [1/], většina je navíc postižena i suchem. Jednotlivé rostlinné druhy se liší svojí citlivostí na solný stres. Objasnění mechanismů obrany rostlin odolných vůči zasolení by mohlo odhalit strategii jak zlepšit odolnost u citlivých rostlin.

Odpovědi na zasolení se účastní mimo jiné i fytohormony. Především je to kyselina abscisová (ABA), která reguluje reakce na dehydrataci /2/, ale i cytokininy (CK) a auxiny (kyselina indol-3-octová, IAA). Jejich role a vzájemné interakce během stresu ale dosud nebyly objasněny. Cílem tohoto projektu je porovnat hormonální profily *Arabidopsis thaliana*, citlivé k zasolení, a tolerantní příbuzné rostliny *Thellungiella halophila* během odezvy na zasolení.

## MATERIÁL A METODA

Rostliny *Arabidopsis thaliana* (Col-0) a *Thellungiella halophila* (Shandong) byly pěstovány hydroponicky v ¼ Hoaglandově roztoku v kultivačním boxu Sanyo MLR 350H (Osaka, Japonsko) 35 dní za podmínek 20 °C, 8/16 h světlo/tma (130 µmol/m<sup>2</sup>/s). NaCl byla přidána do média v určeném množství tak, aby bylo docíleno 11 různých koncentrací pro *Arabidopsis* a 2 koncentrací pro rostliny *Thellungiella*. Listy, apexy a kořeny byly odebrány po 1 týdnu stresu a zmrazeny v tekutém dusíku.

Fytohormony byly izolovány podle /3/. CK, ABA, IAA a jejich deriváty (27, 5 a 3 metabolity) byly kvantifikovány pomocí HPLC-MS (Ultimate 3000, Dionex; 3200 Q TRAP, Applied Biosystems).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Odezva na solný stres se lišila u modelové rostliny *Arabidopsis thaliana*, citlivé na zasolení, a u jejího halofytního příbuzného *Thellungiella halophila*. *Arabidopsis thaliana* měla při koncentracích soli vyšších než 75 mM silně poškozené apexy, listy zůstávaly živé, ale povadlé. Halofytní *Thellungiella halophila* naopak při vysokých koncentracích (350 mM NaCl) chránila apexy, zatímco listy odumíraly. Zřejmě se projevil negativní vliv akumulace soli ve starších listech /4/.

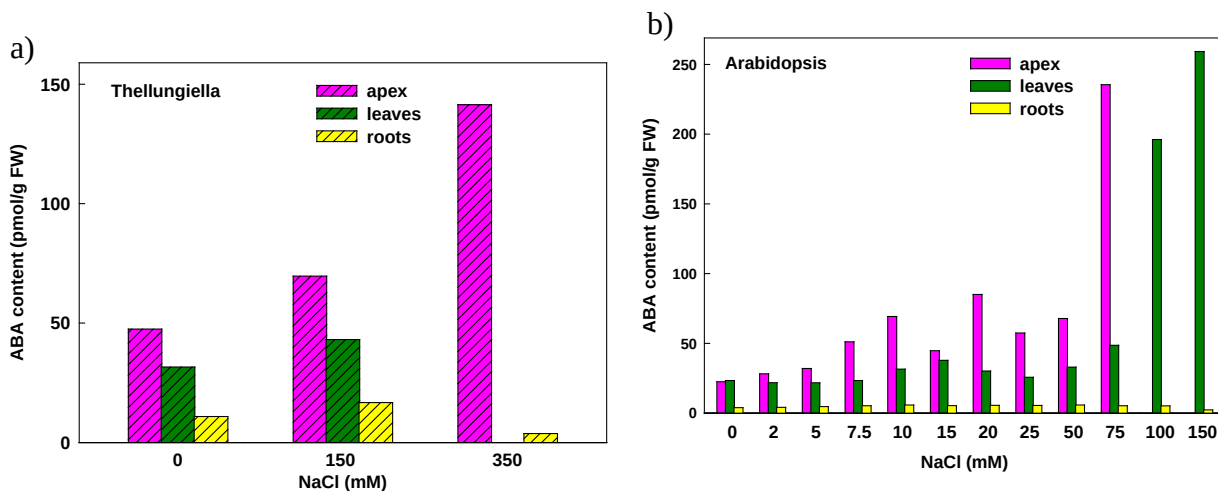
Hladina stresového hormonu ABA (Obr. 1) byla u druhu *Thellungiella halophila* v porovnání s *Arabidopsis* zvýšená i za kontrolních podmínek, což naznačuje vyšší bazální aktivitu obranných drah. Tato připravenost umožňuje rostlině rychlejší a intenzivnější odezvu na náhlý přechod do stresových podmínek, avšak současně má negativní vliv na její růstovou rychlost. Hladina ABA se u rostliny *Thellungiella* dále navyšovala v přítomnosti soli, především v apexech. V rostlinách *Arabidopsis* také docházelo s rostoucí koncentrací soli k postupnému navyšování ABA. Při 75 mM NaCl došlo k prudkému nárůstu ABA (až 10krát více než u kontroly), vyšší koncentrace soli pravděpodobně překonaly schopnost obrany *Arabidopsis*.

Množství aktivních CK (Obr. 2) se lehce snižovalo s rostoucí koncentrací soli u obou druhů. Snížená hladina aktivních CK se zdá být obecnou reakcí na abiotické stresy /5/. Naopak hladina *cis*-zeatinu, jeho ribosidu a prekursoru (Obr. 3) se v apexech zvýšila (u *Arabidopsis* od 50 mM NaCl výše; u *Thellungiella* při 350 mM NaCl). Cytokinin *cis*-zeatin je rovněž fyziologicky aktivní, ale s nižší účinností než *trans*-zeatin nebo další aktivní cytokininy. Jeho zvýšená hladina při velkém zasolení podporuje teorii, že *cis*-zeatin hraje důležitou roli při reakci na abiotické stresy /6/. Předběžné výsledky ale ukazují, že na mírný stres *cis*-zeatin výrazněji nereaguje. Deaktivní produkty jak ABA, tak i CK (hlavně N-glukosidy) byly ve zvýšené míře tvořeny při vysokých koncentracích soli, což pravděpodobně souvisí s regulací hladiny aktivních hormonů.

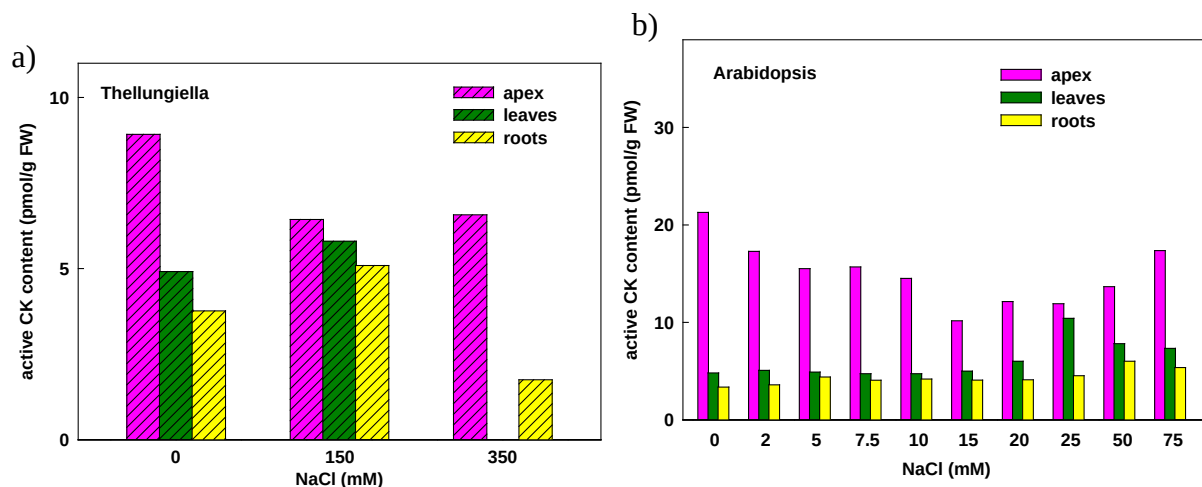
Hladina růstového hormonu IAA (Obr. 4) vykazovala při zasolení dynamické změny. Maximum bylo pozorováno v apexech *Arabidopsis* při 10 mM NaCl. *Thellungiella* měla hladinu auxinu zvýšenou pouze v kořenech při 150 mM NaCl. Tato zvýšení naznačují, že by mírné zasolení mohlo mít pozitivní vliv na růst rostlin. Při vysokých koncentracích NaCl se snižovalo množství IAA a hladiny neaktivních auxinových metabolitů prudce vzrostly

(u *Arabidopsis* hlavně oxo-IAA; u *Thellungiella* IAA-aspartát), s čímž souviselo zpomalení růstu zasolených rostlin. Obecně byly hladiny auxinu v listech a apexech vyšší u rostliny *Thellungiella* než u *Arabidopsis*.

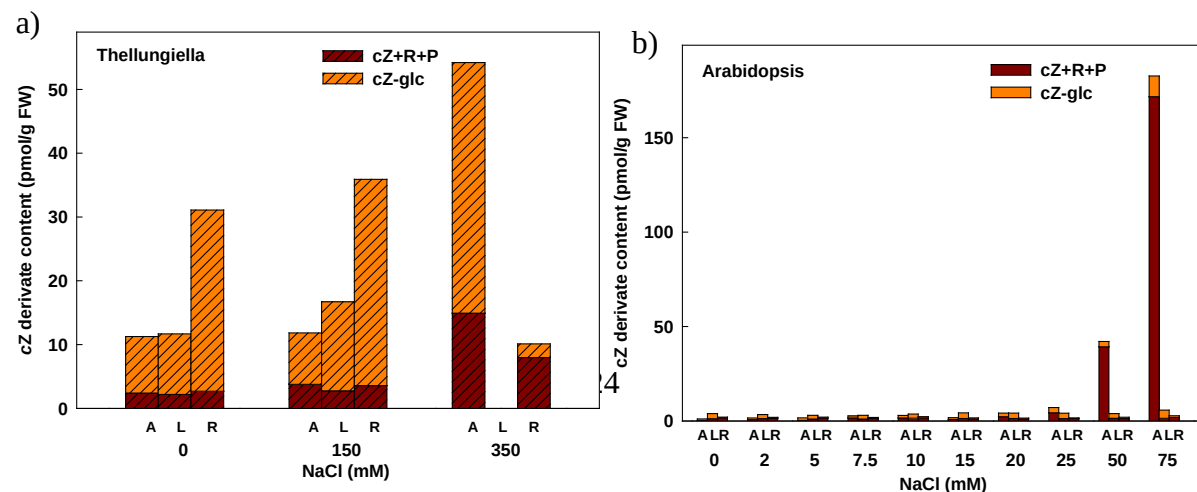
Obr. 1: Hladiny kyseliny abscisové (ABA) v apexe, listech a kořenech u a) *Thellungiella halophila*, b) *Arabidopsis thaliana* při zasolení.



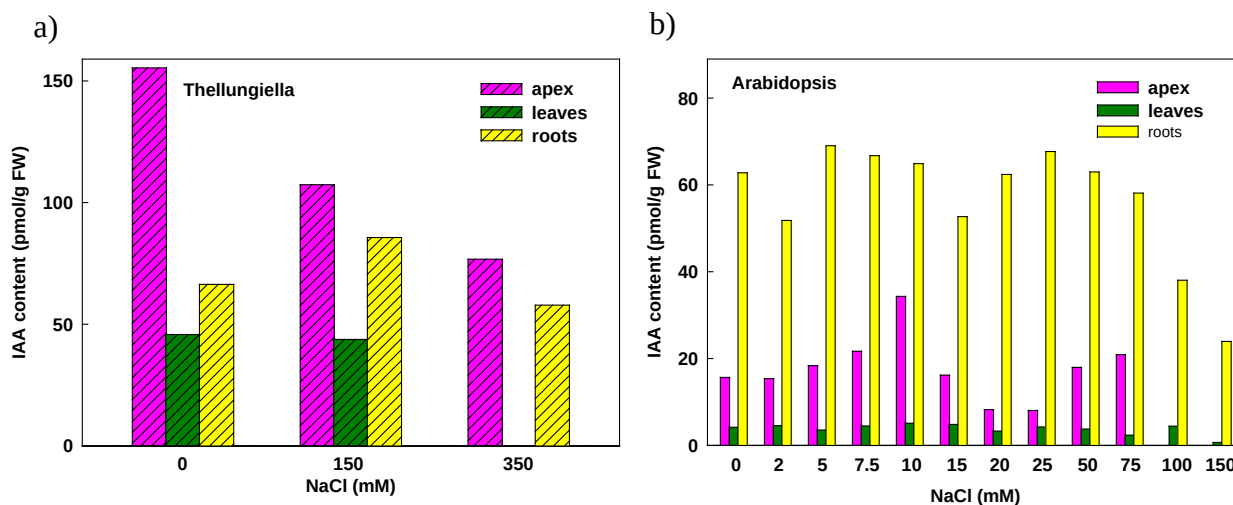
Obr. 2: Hladiny aktivních cytokininů (trans-zeatin, isopentenyladenin, dihydrozeatin, jejich ribosidy) v apexe, listech a kořenech u a) *Thellungiella halophila*, b) *Arabidopsis thaliana* při zasolení.



Obr. 3: Hladiny cis-zeatinu, jeho ribosidu, fosfátu a glukosidů v apexe, listech a kořenech u a) *Thellungiella halophila*, b) *Arabidopsis thaliana* při zasolení.



Obr. 4: Hladiny kyseliny indol-3-octové (IAA) v apexech, listech a kořenech u a) *Thellungiella halophila*, b) *Arabidopsis thaliana* při zasolení.



## LITERATURA

- /1/ Zhu J. K.: Plant salt tolerance. Trends Plant Sci 2001; 6: 835-840.
- /2/ Nambara E., Marion-Poll A.: Absciscic Acid Biosynthesis and Catabolism. Annu. Rev. Plant Biol. 2005; 56:165-185.
- /3/ Dobrev P. I., Kamínek M.: Fast and efficient separation of cytokinins from auxin and abscisic acid and their purification using mixed-mode solid-phase extraction. J Chrom A 2002; 950: 21-9.
- /4/ M'rah S., Ouerghi Z., Eymery F., Rey P., Hajji M., Grignon, C., Lachaal M.: Efficiency of biochemical protection against toxic effects of accumulated salt differentiates *Thellungiella halophila* from *Arabidopsis thaliana*. J Plant Physiol 2007; 164: 375-384.
- /5/ Ha S., Vankova R., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K., Tran L. P.: Cytokinins: metabolism and function in plant adaptation to environmental stresses. Trends Plant Sci 2012; 17: 172-179.
- /6/ Gajdosova S., Spíchal L., Kamínek M., Hoyerova K., Novak O. *et al.*: Distribution, biological activities, metabolism, and the conceivable function of *cis*-zeatin-type cytokinins in plants. J Exp Bot 2011; 62: 2827-2840.

## Poděkování

Tato práce vznikla díky podpoře MEYS ČR, projekt č. LD11073.



## NÍZKOTEPLTNÁ PLAZMA AKO INDUKTOR OXIDAČNÉHO STRESU A JEJ VPLYV NA ÚRODU HRACHU SIATEHO

### *LOW-TEMPERATURE PLASMA AS AN OXIDATIVE STRESS INDUCTOR AND ITS INFLUENCE ON PEA YIELD*

Tibor Stolárik<sup>1</sup>, Mária Henselová<sup>1</sup>, Ľudmila Slováková<sup>1</sup>, Anna Zahoranová<sup>2</sup>, Mirko Černák<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyziológie rastlín, Mlynská dolina B-2, 842 15 Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup> Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Katedra experimentálnej fyziky, Mlynská dolina F-2, 842 48 Bratislava, Slovenská republika

#### **Summary**

The objective of this study was to determine the efficacy of a low-temperature plasma (LTP) on the antioxidative enzymes (SOD, G-POX, CAT) in 7-day-old pea (*Pisum sativum* L. cv. Prophet) seedlings cultivated in the dark or in the light. There was also analyzed the effect of LTP on the yield parameters of pea plants in the field trials. The seeds of pea were exposed to LTP from 60 to 180 seconds exposure time by using Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge (DCSBD). Our results indicate that LTP treatment of pea seeds affects the activities of all studied antioxidant enzymes and this effect depends on the duration of LTP treatment, on the cultivated conditions (light/dark) and also on the plant organ (root/aboveground part of plants). In the field conditions LTP increased yield parameters as the weight and number of seeds per plant. The highest positive effect was achieved with LTP for 100 seconds.

*Key words: low-temperature plasma, oxidative stress, pea, Pisum sativum, yield.*

#### **Súhrn**

V práci sa overovali účinky nízкотеплотnej plazmy (NTP) na aktivitu antioxidantných enzýmov (SOD, G-POX, KAT) pri 7-dňových klíčencoch hrachu siateho *Pisum sativum* (L.) odroda Prophet, pestovaných na svetle a v tme. Hodnotil sa tiež vplyv plazmy na úrodu hrachu v poľných podmienkach. NTP sa aplikovala na semená hrachu v expozičných dávkach 60 až 180 sekúnd pomocou difúzneho koplanárneho dielektrického bariérového výboja (DCSBD). Aktivita jednotlivých antioxidantných enzýmov závisela od expozičnej dávky NTP, od kultivačných podmienok rastlín, ako aj analyzovaného rastlinného orgánu. V poľných podmienkach sa dosiahol pozitívny vplyv plazmy na úrodotvorné parametre (hmotnosť a počet semien na rastlinu) s najvyšším preukazným zvýšením hmotnosti semien/rastlina o 40,2 % oproti kontrole pri dávke NTP 100 sekúnd.

*Kľúčové slová: hrach siaty, Pisum sativum, nízкотеплотná plazma, oxidačný stres, úroda*

#### **ÚVOD**

Elektrická nízкотеплотná plazma (NTP) je dostatočne ionizovaný plyn, ktorý sa generuje elektrickými výbojmi v plyne /1/. V posledných rokoch sa výskumu plazmy venuje značná pozornosť v rôznych technologických oblastiach /2/. Jednou z možných perspektívnych oblastí uplatnenia NTP sa ukazuje aj jej využitie na predsejbovú úpravu rastlinných semien za účelom vylepšenia ich klíčivosti a následného ovplyvnenia rastu a vývinu rastlín /3/. Zistilo

sa, že vplyvom NTP dochádza k aktivácii aj niektorých enzýmových komplexov /4/, pričom sa môže vplyv plazmy rôznymi mechanizmami prenášať aj do neskorších štádií ontogenézy rastlín a pozitívne tak ovplyvňovať aj úrodu úžitkových plodín /5/. Pri generovaní plazmy sa účinkom silného elektrického poľa ionizujú molekuly plynu, a tak vznikajú elektróny, kladné ióny a ďalšie excitované molekuly a chemicky aktívne častice /1/, ktoré podľa /6/ vytvárajú vysoko reaktívne prostredie s produkciou rôznych radikálov, vyvolávajúcich oxidačný stres. Z tohto dôvodu je aktivita antioxidantných enzýmov vhodným markerom pre sledovanie oxidačného stresu vznikajúceho pôsobením NTP /7/.

Cieľom našej práce bolo overenie vplyvu NTP na aktivitu antioxidantných enzýmov (SOD, G-POX, KAT), ako aj výnosové parametre rastlín hrachu siateho.

## MATERIÁL A METÓDY

Semená hrachu (*Pisum sativum* L.) odroda Prophet sa opracovali plazmou generovanou vo vzduchu pri atmosférickom tlaku s využitím DCSBD /2/. Semená 24 h po ošetrovaní NTP (expozičné dávky 60, 120 a 180 s), ako aj kontrolné neošetrené semená sa po 6 hodinovej imbibícii v destilovanej vode vysiali do perlitu a počas celej doby kultivácie sa zalievali Hoaglandovým živným roztokom. Polovicu rastlín sme kultivovali na svetle v kultivačnej komore s kontrolovanými podmienkami (25 °C, RV 80 %, fotoperiódá 16/8 h svetlo/tma, svetelná intenzita FAR 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Druhá polovica rastlín sa pestovala za rovnakých podmienok v tme. Po 7 dňoch kultivácie sa vzorky koreňov aj nadzemných častí rastlín zamrazili tekutým dusíkom a udržiavali pri konštantnej teplote -70 °C pre potreby analýz proteínov a enzýmov. Po homogenizácii v tekutom dusíku sa vzorky resuspendovali v 2,5 ml 50 mM fosfátového tlmivého roztoku (pH 7,5) s obsahom 1 mM EDTA a inhibítorom proteáz a centrifugovali 25 min. pri 12 000 g. Na stanovenie enzymatickej aktivity sa použil supernatant. Rozpuštné bielkoviny sa stanovili podľa /8/, aktivita superoxiddismutázy (SOD) podľa /9/, aktivita katalázy (KAT) podľa /7/ a výpočet jej špecifickej aktivity podľa /10/. Tiež sa stanovila aktivita peroxidázy (G-POX) metódou /11/.

Výsev semien hrachu v poľných podmienkach po ich ošetrovaní NTP (expozičné dávky 0, 60, 80, 100, 120 a 160 s) sa uskutočnil 13. 4. 2012. Semená sa vysiali do riadkov v spone 30 x 30 cm so striedavým rozmiestnením jednotlivých variantov, pričom počas celej doby vegetácie sa rastliny pravidelne podľa potreby zavlažovali. Po 90 dňoch pestovania hrachu sa zozbierala úroda strukov z počtu 20 rastlín/variant, ktoré sa ešte dosušovali v laboratórnych podmienkach na konštantný obsah vody v semene. Z výnosových parametrov sa hodnotil počet semien/rastlina a celkový výnos semien/rastlina. V novej generácii semien sa hodnotil obsah bielkovín a tiež ich klíčivosť. Dosiahnuté výsledky sa spracovali softvérom Microsoft Excel a programom Statgraphics Plus 5.1 a štatisticky vyhodnotili ANOVA LSD testom.

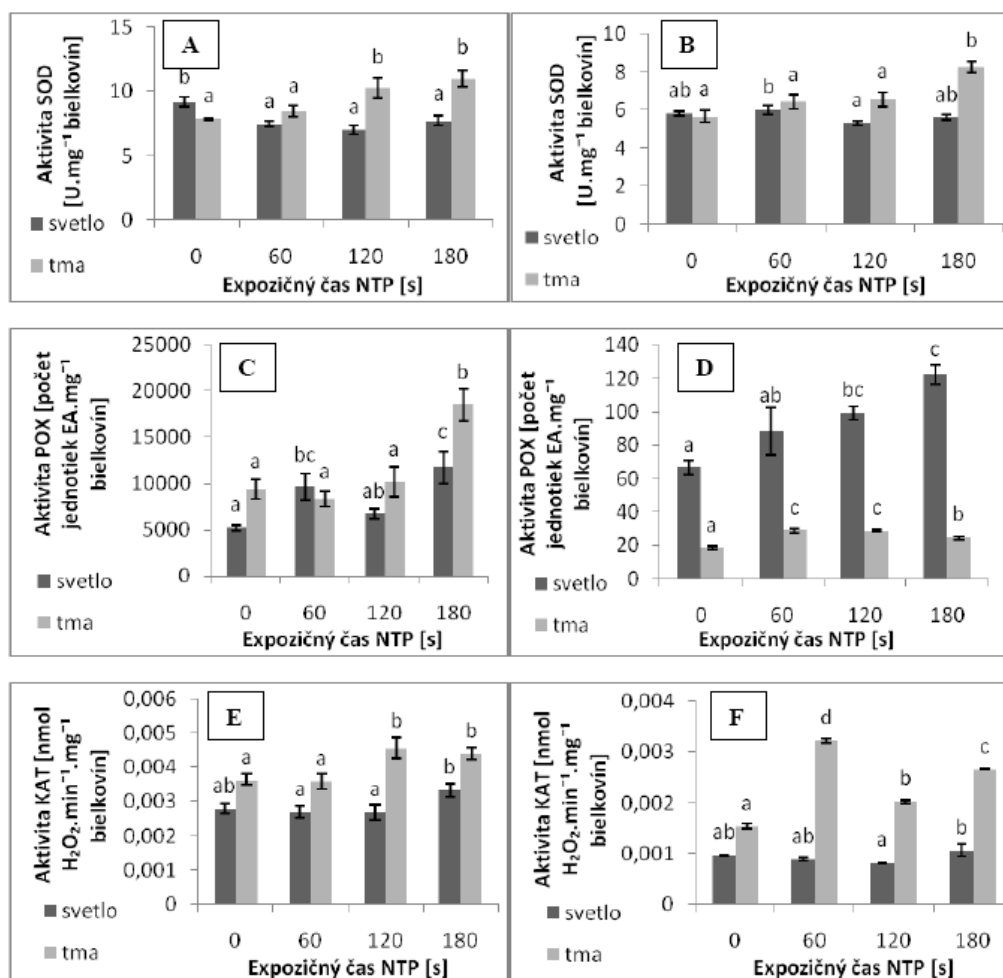
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z našich doterajších zistení vyplýva, že reaktívne prostredie NTP indukuje v rastlinách hrachu oxidačný stres. Potvrdzujú to aj stanovené zmeny v aktivite jednotlivých antioxidantných enzýmov (SOD, G-POX, a KAT), ktoré sa menili v závislosti od dĺžky expozičného času NTP, analyzovaného rastlinného orgánu (koreň/ nadzemná časť), ako aj od spôsobu kultivácie rastlín (svetlo/tma). Dosiahnuté výsledky korešpondujú s našimi predchádzajúcimi zisteniami týkajúcimi sa zmien v aktivite antioxidantných enzýmov v koreňoch kukurice po aplikácii nízkoteplotnej plazmy/12/. SOD je kľúčovým enzýmom ochraňujúcim bunku proti oxidačnému stresu. Katalyzuje dismutáciu  $\text{O}_2^-$  na  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $\text{O}_2$  /13/. Zatiaľ čo aktivita SOD v koreňoch hrachu pestovaného na svetle sa pod vplyvom plazmy preukázane znížila oproti kontrole o 15,8 až 23,5 %, v koreňoch rastlín kultivovaných v tme sa naopak aktivita SOD zvyšovala s expozičnou dávkou NTP preukázane však o 30,2 až 39,6 % v

dávkach 120 a 180 s (obr. 1A). Podobne podľa /12/ aktivita SOD v koreňoch rastlín kukurice po troch dňoch kultivácie stúpala s expozičnou dávkou NTP. V nadzemných častiach rastlín pestovaných na svetle bola aktivita SOD mierne vyššia oproti kontrole iba pri 60 s expozícii NTP, pričom v rastlinách pestovaných v tme najvyššia aktivita tohto enzýmu, zvýšená o 45,8 % sa dosiahla pri 180 s (obr. 1B). Podobné zvýšenie aktivity SOD od 9,87% do 22,5 % zaznamenali aj /14/ u ryže, ktorej semená boli ošetrované silným elektrostatickým poľom. Je všeobecne známe, že G-POX sa podieľa na ochrane buniek proti reaktívnym formám kyslíka. Aktivita G-POX v koreňoch rastlín pestovaných ako na svetle, tak aj v tme sa preukazne zvyšovala so stúpajúcou expozičnou dávkou NTP. V koreňoch rastlín bola aktivita tohto enzýmu zvýšená o 96,8 % v tme a o 124,4 % na svetle oproti kontrolnej vzorke a to pri najvyššej aplikačnej dávke NTP 180 s (obr. 1C). So stúpajúcou expozičnou dávkou sa preukazne zvyšovala aj aktivita G-POX v nadzemných častiach rastlín pestovaných na svetle, pričom pri dávke 180 s dosiahla úroveň až o 84 % vyššiu, ako v kontrole. V nadzemných častiach rastlín pestovaných v tme sa G-POX aktivita preukazne zvyšovala pri všetkých aplikačných dávkach NTP, pričom pri 60 a 120 s expozícii, bola v priemere o 56 % vyššia oproti kontrole (obr. 1D). Naše zistenia korelujú s výsledkami /5/, ktorí preukázali zvýšenú aktivitu G-POX v hypokotyloch, ako aj celých rastlinách rajčiaka jedlého (*Solanum lycopersicum*) vzídených zo semien ošetrovaných plazmou. U rastlín hrachu s nízkou toleranciou na stres z kadmia sa aktivita G-POX znižovala oproti kontrole, naopak u tolerantného hrachu sa aktivita celého antioxidantného systému vrátane peroxidázy podľa /15/ zvyšovala, čo korešponduje aj s našimi výsledkami, pričom rastliny hrachu pod vplyvom NTP v rozpätí aplikačných dávok 60 až 180 sekúnd nevykazovali žiadne symptómy poškodenia. Aktivita KAT v koreňoch rastlín pestovaných na svetle bola preukazne vyššia o 18 % iba pri dávke 180 s, zatiaľ čo v koreňoch rastlín pestovaných v tme sa preukazne zvýšila o 25,3 % pri 120 s a o 20,9 % pri 180 s expozícii oproti kontrole (obr. 1E). KAT aktivita v nadzemných častiach rastlín pestovaných na svetle bola oproti kontrole preukazne zvýšená o 10,4 % iba pri najvyššej 180 s dávke NTP, pričom v nadzemných častiach rastlín pestovaných v tme aktivita tohto enzýmu v rámci overovaných aplikačných dávok varíovala (obr. 1F). Podobné výsledky zaznamenali aj /4/ v semenách kukurice vystavených pôsobeniu statického magnetického poľa, pričom podľa /16/ sa zistilo až 83 % zvýšenie aktivity katalázy u semien uhoriek ošetrovaných elektromagnetickým poľom o intenzite 250 mT. Sme tiež toho názoru, že zmeny v aktivite antioxidantných enzýmov, hlavne u rastlín pestovaných v tme, mohli byť ovplyvnené nielen stresom z aplikácie NTP, ale aj zo stresu spôsobeného kultivačnými podmienkami. Signifikantné rozdiely v aktivite jednotlivých enzýmov, osobitne však zvýšenej aktivity peroxidázy u rastlín pestovaných na svetle, naznačujú na zvýšený podiel hlavne zásaditých peroxidáz, ktoré sa podieľajú na procese lignifikácie bunkových stien, pričom svetelná energia zvyšuje intenzitu týchto procesov /17/. Pri kultivácii rastlín fazule mungo v tme bola naopak aktivita peroxidáz relatívne nízka/18/.

V poľných podmienkach overovaný vplyv NTP sa prejavil pozitívne, hlavne v náraste počtu semien/rastlina, čo sa následne premietlo aj do celkovej hmotnosti výnosu semien/rastlina. Najvyšší účinok NTP na úrodovtné parametre sa prejavil pri dávke 100 s, čo predstavovalo preukazné zvýšenie hmotnosti semien/rastlinu oproti kontrole o 40,2 % (tab.1). Výsledky korešpondujú so závermi /5/, ktorí pri rastlinách rajčiaka zistili preukazný nárast biomasy plodov oproti kontrole o 22,4 %. Účinok NTP negatívne neovplyvnil obsah bielkovín v semenách dopestovaných zo semien ošetrovaných plazmou (F1 generácia). Bol porovnateľný s obsahom bielkovín v kontrolnej vzorke semien a dosahoval hodnotu 99,11 %  $\pm$  0,89 oproti kontrole. Taktiež klíčivosť semien F1 generácie vplyvom plazmy v rozmedzí overovaných aplikačných dávok 60 až 160 s nebola negatívne ovplyvnená a pohybovala sa od 96 % do 100 %, oproti kontrole, v ktorej sa dosiahla 96 % klíčivosť.

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že aplikácia NTP na semená spôsobuje u mladých klíčencov hrachu oxidačný stres, ktorý sa však negatívne nepremietol do úrody tejto plodiny. Preukázalo sa, že NTP v optimálnej aplikačnej dávke pozitívne ovplyvňuje úrodotvorné parametre hrachu siateho.



Obr. 1: Vplyv NTP na aktivitu SOD v koreňoch (A) a nadzemných častiach (B), na aktivitu G-POX v koreňoch (C) a nadzemných častiach (D) a na aktivitu KAT v koreňoch (E) a nadzemných častiach (F) 7-dňových klíčencov hrachu pestovaných na svetle a v tme. Hodnoty sú priemerom  $\pm$  SE,  $n=3$ . Hodnoty označené rozdielnym písmenom sú štatisticky preukazné pri  $P \leq 0,05$  podľa LSD testu.

| Aplikačná dávka NTP (s) | Počet semien [ks.rastlina <sup>-1</sup> ] | Hmotnosť semien [g.rastlina <sup>-1</sup> ] |
|-------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0                       | 22,17 $\pm$ 1,59 <sup>a</sup>             | 4,95 $\pm$ 0,49 <sup>a</sup>                |
| 60                      | 27,00 $\pm$ 1,48 <sup>b</sup>             | 6,33 $\pm$ 0,34 <sup>b</sup>                |
| 90                      | 26,06 $\pm$ 1,78 <sup>ab</sup>            | 6,47 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>                |
| 100                     | 28,56 $\pm$ 1,51 <sup>b</sup>             | 6,94 $\pm$ 0,33 <sup>b</sup>                |
| 120                     | 27,33 $\pm$ 1,34 <sup>b</sup>             | 6,61 $\pm$ 0,34 <sup>b</sup>                |
| 160                     | 26,11 $\pm$ 1,48 <sup>ab</sup>            | 6,31 $\pm$ 0,43 <sup>b</sup>                |

Tab. 1: Vplyv NTP na úrodotvorné parametre hrachu siateho po 90-dňovej kultivácii na poli. Hodnoty sú priemerom  $\pm$  SE,  $n=20$ . Hodnoty označené rozdielnym písmenom sú štatisticky preukazné pri  $P \leq 0,05$  podľa LSD testu.

## LITERATÚRA

- /1/ Martišoviš, V.: Základy fyziky plazmy. FMFI UK, Bratislava, 2004: 216
- /2/ Černák, M., Černáková, E., Hudec, I., Kováčik, D., Zahoranová, A.: Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge and its applications for in-line processing of low-added-value materials. Eur. Phys. J. Appl. Phys, 47, 2009: 22806 (p1-p6)
- /3/ Šerá, B., Straňák, V., Šerý, M., Tichý, M., Špatenka, P.: Germination of *Chenopodium album* in response to microwave plasma treatment. Plasma Sci. Technol, 10, 2008: 506-511
- /4/ Vashisth, A., Nagarajan, S.: Characterization of water distribution and activities of enzyme during germination in magnetically-exposed maize (*Zea mays* L.) seeds. Ind. J. Biochem. Biophys, 47, 2009: 311-317
- /5/ Yin, M.Q., Huang, M.G., Ma, B.Z., Ma, T.C.: Stimulating effect of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. Plasma Sci. Technol, 7, 2005: 3143-3147
- /6/ Laroussi, M.: Low temperature plasma-based sterilization: Overview and state-of-the-art. Plasma Process. Polym, 2, 2005: 391-400
- /7/ Hodges, D.M., Andrews, C.J., Johnson, D.A., Hamilton, R.I.: Antioxidant enzyme responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines. J. Exp. Bot, 48, 1997: 1105-1113
- /8/ Bradford, M.M.: A rapid and sensitive method for the quantification of micrograms quantities of protein utilizing the principle of protein dye bindings. Anal. Biochem, 72, 1976: 248-254
- /9/ Garcia-Limones, C., Hervas, A., Navas-Cortes, J.A., Jimenez-Diaz, R.M., Tena, M.: Induction of an antioxidant enzyme system and other oxidative stress markers associated with compatible and incompatible interactions between chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. Physiol. Molec. Plant Pathol, 61, 2002: 325-327
- /10/ Claiborne, A.: Catalase activity. In: Greenvald, R.A. (ed.), CRS Handbook of methods for oxygen radical research, CRC Press, 1985: 283-284
- /11/ Frič, F., Fuchs, W.H.: Veränderungen der Aktivität einiger Enzyme im Weizenblatt in Abhängigkeit von der temperaturlabilen Verträglichkeit für *Puccinia graminis tritici*. Phytopathol. Z, 67, 1970: 161-174
- /12/ Henselová, M., Slováková, E., Martinka, M., Zahoranová, A.: Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma. Biologia, 67, 2012:490-497
- /13/ Sandalio, L. M., Dalurzo, H.C., Gómez, M., Romero-Puertas, M.C., del Rio, L.A.: Cadmium-induced changes in growth and oxidative metabolism of pea plants. J. Exp. Bot, 52, 2001:2115-2126
- /14/ Wang, G., Huang, J., Gao, W., Lu, J., Li, J., Liao, R., Jallel, Ch.A.: The effect of high-voltage electrostatic field (HVEF) on aged rice (*Oryza sativa* L.) seeds vigor and lipid peroxidation of seedlings. J. Electrostatics, 67, 2009:759-764.
- /15/ Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R.: Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). J. Exp. Bot, 52, 2001:1101-1109
- /16/ Bhardwaj, J., Anand, A., Nagarajan, S.: Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. Plant Physiol. Biochem, 57, 2012:67-73
- /17/ Chen, Y.A., Shin, J.W., Liu, Z.H.: Effect of light on peroxidase and lignin synthesis in mungbean hypocotyls. Plant Physiol. Biochem, 40, 2002:33-39
- /18/ Kollárová, K., Vatehová, Z., Slováková, E., Lišková, D.: Interaction of galactoglucomannan oligosaccharides with auxin in mung bean primary root. Plant Physiol. Biochem, 48, 2010:401-406

## Pod'akovanie

Uvedená práca bola finančne podporená grantovými projektami VEGA č. 1/0755/10 a TA č. 02010412.

## **VPLYV NADBYTKU DUSÍKA NA RASTLINY PŠENICE VO VEGETATÍVNOM ŠTÁDIU**

### ***MOLECULAR ASPECTS OF EXCESS NITROGEN ON WHEAT PLANTS IN THE VEGETATIVE STAGE***

Martin Sarker<sup>1</sup>, Patrik Mészáros<sup>2</sup>, Marína Maglovski<sup>1</sup>, Jana Libantová<sup>1</sup>, Jana Moravčíková<sup>1</sup>,  
Ildikó Matušíková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddelenie molekulárnej biológie a biotechnológií, Ústav genetiky a biotechnológií rastlín, Slovenská  
akadémia vied, Akademická 2, 950 07 Nitra, marina.maglovski@savba.sk  
martin.sarker16@gmail.sk,

<sup>2</sup> Katedra botaniky a genetiky, Fakulta prírodných vied, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre,  
Nábřežie mládeže 91, 949 74 Nitra, patrik.meszaros@ukf.sk

#### ***Summary***

Increased content of inorganic nitrogen (N) in soil is responsible not only for various ecological problems, but also induces stress to plants. In this work, we focus on studying the effect of high doses of nitrogen in the form of ammonium nitrate on wheat plants in the vegetative stage of growth under optimal conditions. Applied concentrations of inorganic nitrogen in water solutions (7-35 mM) caused in wheat plants inhibition of growth and biomass production, thinning of stems and a decrease in the number and total surface of the stomata in leaf epidermis. Plants are likely to store and/or detoxify excess nitrogen in the form of various compounds such as chlorophylls, proline and other proteins. We also observed different activity of individual isoforms of the glucanases that are typical plant defense enzymes.

*Key words: nutrition excess, Triticale, glucanases*

#### ***Súhrn***

Zvýšený obsah anorganického dusíka (N) v pôde spôsobuje okrem rôznych ekologických problémov aj stres rastlinám. V tejto práci sme sa zamerali na štúdium vplyvu vysokých dávok dusíka vo forme dusičnanu amónneho na rastliny pšenice vo vegetatívnom štádiu pri optimálnych podmienkach rastu. Aplikované koncentrácie anorganického dusíka v zálevných roztokoch (7 – 35 mM) vyvolali u rastlín pšenice inhibíciu rastu a produkcie biomasy, stenčenie stoniek a pokles počtu a celkového povrchu prieduchov na epiderme listov. Rastliny pravdepodobne ukladali a detoxifikovali nadbytočný dusík vo forme rôznych zlúčenín ako chlorofily, prolín a iné proteíny. Zároveň sme pozorovali rozdielnú aktivitu jednotlivých izoform enzýmov obranných glukanáz v závislosti od nutričných podmienok.

*Kľúčové slová: prebytok živín, Triticale, glukanázy*

#### **ÚVOD**

Anorganický dusík v pôde je esenciálny pre rast rastlín, a jeho nedostatok spôsobuje pokles úrodnosti a produkcie biomasy rastlín. V záujme zvýšenia produkčných ukazovateľov jednotlivých plodín sa preto spotreba množstva dusíkatých hnojív v poľnohospodárstve neustále zvyšuje. Za týmto účelom sa na svete ročne spotrebuje niekoľko desiatok miliónov

ton rôznych dusíkatých hnojív. Okrem vysokej ceny sú však s aplikáciou dusíkatých hnojív spojené aj mnohé ekologické problémy, napríklad prienik hnojív do spodných vôd, hromadenie dusíkatých látok v ekosystéme, alebo zvýšené uvoľňovanie skleníkového plynu oxidu dusného /5/. Nadbytok dusíkatých látok v pôde však zároveň negatívne vplýva aj na samotné rastliny, nakoľko pôsobí na ne toxicky a vyvoláva u nich stres. Symptómy pôsobenia nadbytočného dusíku na rastliny sú znížená hrúbka stoniek obilnín, vyššia náchylnosť k rôznym chorobám ako aj nerovnomerný rast /3/. Napriek závažnosti a aktuálnosti tohto problému sa však (na rozdiel od nedostatočnej minerálnej výživy) venuje len relatívne málo vedeckého úsilia.

V tejto práci sme sa zamerali na zistenie vplyvu nadbytočného dusíka vo forme dusičnanu amónneho na vybrané ukazovatele u pšenice satej. U rastlín rastúcich v pôde a zalievaných roztokmi dusičnanu amónneho s rôznymi koncentráciami dusíka (0 – 35 mM) sme sledovali dĺžku a hmotnosť výhonku, počet a celkovú plochu prieduchov na epiderme listov a produkciu peroxidu vodíka ako indikátora oxidačného stresu. Ďalej sme stanovili koncentrácie fotosyntetických pigmentov, voľného prolínu, celkových proteínov ako aj aktivity niektorých typických rastlinných obranných enzýmov - glukanáz. Na základe výsledkov sme zhodnotili dopady pôsobenia nadbytku dusíka na rastliny pšenice.

## MATERIÁL A METÓDY

Semená pšenice (*Triticum aestivum*) odrody *Genoveva* (15) boli vysiate do črepníkov (Ø 15 cm) do 400 g pôdy (BORA). Rastliny sme kultivovali pri 23 °C a svetelnej perióde 8 hodín svetla a 16 hodín tmy. Keď rastliny dosiahli výšku cca 2 cm, zaliali sme ich roztokmi  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  o nasledovných koncentráciách anorganického dusíka: 0 mM N (kontrola), 7 mM N, 14 mM N, 21 mM N, 35 mM N. Inkubácia bola ukončená po 8 dňoch keď najvyššie rastliny dosiahli výšku ~ 25 cm.

Merali sme dĺžku a hmotnosť výhonkov a následne sme stanovili relatívne hodnoty vo vzťahu ku kontrolným variantám experimentu (0 mM N). Počet prieduchov sme stanovili na adaxiálnej (vrchnej) i abaxiálnej (spodnej) strane listov odtlačkovou metódou pod svetelným mikroskopom v 2 zorných poliach (435x325).

Obsahy chlorofylu *a* (Chl *a*), chlorofylu *b* (Chl *b*) a celkových karotenoidov (Car) sme stanovili v čerstvých listoch (50 mg) po extrakcii v 5 ml 80 % acetónu spektrofotometricky. Výsledky sme vyjadrili v percentách vzhľadom k príslušným kontrolám.

Koncentrácie voľného prolínu sme stanovili v listoch (0,2 g) /6/. Z listov (200 mg) sme izolovali hrubý proteínový extrakt a alikvóty proteínov (15 µg) sme separovali na polyakrylamidových géloch. Aktivitu enzýmov glukanáz sme stanovovali priamo v géloch pomocou 1 % (w/v) laminarínu ako substrátu.

Celkový profil proteínov v rastlinných vzorkách sme získali po farbení gélov pomocou Coomassie Brilliant Blue R-250.

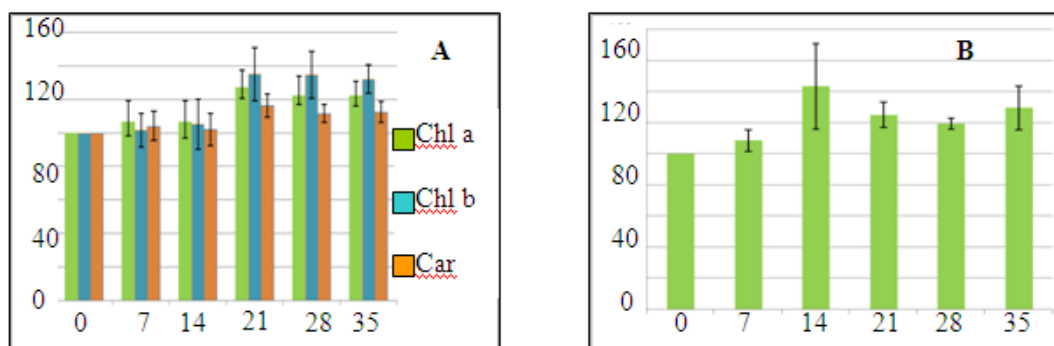
Experimenty boli uskutočnené v troch nezávislých biologických opakovaníach. Kvantitatívne výsledky sú vyjadrené ako priemery relatívnych hodnôt vzhľadom ku kontrole ± smerodajné odchýlky. Štatistickú významnosť zmien sme testovali Studentovým t-testom.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vplyvom nadmerných dávok dusíka v zálievkach v našom experimente došlo vo všeobecnosti k inhibícii rastu výhonkov do dĺžky a zníženiu produkcie biomasy pri všetkých typoch variantov, avšak tieto zmeny neboli štatisticky preukazné (pri  $p > 0.05$ ). Zároveň

aplikované dávky dusíka spôsobili zníženie počtu prieduchov na spodnej (abaxiálnej) aj vrchnej (adaxiálnej) strane listov, čo naznačuje zmeny v príjme CO<sub>2</sub> v testovaných rastlinách. Kým nižšie aplikované dávky dusíka výrazne neovplyvnili syntézu fotosyntetických pigmentov, pri koncentráciách 21 mM až 35 mM sme pozorovali zvýšenie obsahu pigmentov, najmä chlorofilu B, menej karotenoidov (obrázok č. 1A). Pri nedostatku dusíka v pôde bola naopak popísaná znížená syntéza chlorofylov /2/.

Zvýšené dávky dusíka spôsobili aj zvýšenie akumulácie voľného prolínu v listoch pšenice, podobne ako to bolo pozorované pri rastlinách sóje /6/, /3/ (obrázok č. 1B). U pšenice bola doteraz zaznamenaná akumulácia prolínu ako odpoveď na presolenie (osmotický stres) /1/ a sucho /4/, nemáme však vedomosti o prácach zameraných na jeho akumuláciu pri strese nadbytkom dusíka. Akumulácia prolínu so zvyšujúcimi sa dávkami aplikovaného dusíka v pšenici nemá lineárny charakter, plní však (podobne ako u sóje) pravdepodobne zásobnú a/aj ochrannú úlohu.



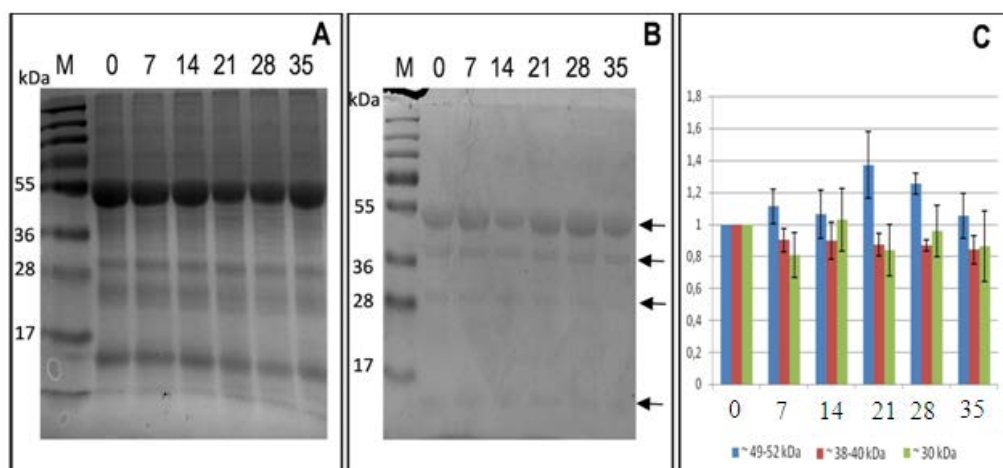
Obrázok 1 Relatívny obsah fotosyntetických pigmentov (A) a obsah prolínu (B) v listoch pšenice pri raste na rôznych koncentráciách dusíka (v mM)

V listoch rastlín pšenice ovplyvnených nadmerným množstvom dusíka sme zaznamenali zvýšenie proteosyntézy v porovnaní s kontrolnými vzorkami (údaje nie sú uvedené), čo je v literatúre pomerne bežným javom pri rastlinnom strese. Celkový profil proteínov vo vzorkách sa však v jednotlivých vzorkách výrazne nelíšil (obrázok č. 2A).

V listoch rastlín pšenice ovplyvnených nadmerným množstvom dusíka sme zaznamenali zvýšenie proteosyntézy v porovnaní s kontrolnými vzorkami (údaje nie sú uvedené), čo je v literatúre pomerne bežným javom pri rastlinnom strese. Celkový profil proteínov vo vzorkách sa však v jednotlivých vzorkách výrazne nelíšil (obrázok č. 2A).

V experimentálnych rastlinách sme detekovali prítomnosť a aktivitu enzýmov glukanáz, ktoré sa považujú za proteíny stresu, predovšetkým pri patogenéze. V listoch pšenice sme pozorovali prítomnosť 3 izoform týchto enzýmov (obrázok č. 2B a C). Aktivity jednotlivých izoform sa pri tom výraznejšie nemenili v závislosti od množstva prítomného dusíka. U izoformy s nižšími molekulovými hmotnosťami (30 kDa a 38 – 40 kDa) sme však pozorovali miernu inhibíciu aktivity (syntézy) vplyvom nadmerného dusíka, naopak u izoformy s molekulovou hmotnosťou 49 – 52 kDa miernu stimuláciu. Predpokladáme, že pri väčšom počte opakovaní by nižšie odchýlky meraní umožnili vyvodiť jednoznačnejší záver o vplyve množstva dusíka na aktivitu glukanáz. Významný účinok dusíka nebol pozorovaný ani u sóje v prípade enzýmov s podobnou funkciou (chitinázy) /3/.





Obrázok 2 Profil rozpustných proteínov z listov pšenice (A) a reprezentatívny obrázok profilu glukonázy (B)

Aplikované koncentrácie anorganického dusíka vyvolali u rastlín v našich experimentoch stres v podobe zníženého rastu a produkcie biomasy a zníženého počtu a celkového povrchu prieduchov. Relatívne vyššie dávky dusíka vyvolali akumuláciu niektorých dusíkatých látok ako napr. chlorofylu *a* a *b*, voľného prolínu a iných proteínov. Zaujímavý trend sme zaznamenali pri aktivitách rôznych izoform enzýmov s glukonázovou aktivitou, ktoré však v budúcnosti bude potrebné presnejšie kvantifikovať a potvrdiť.

Táto práca prináša poznatky o fyziológii rastlín v podmienkach nadbytočnej dusíkovej výživy, ktorá je oproti iným typom environmentálnych faktorov pomerne zanedbávaná. Vysoké dávky dusíka evidentne môžu pôsobiť na rastliny ako stres, ktorý môže ďalej mať negatívne dopady pri interakcii s inými faktormi z prostredia (napr. pri útokoch patogénov, suchu atď.). Poznatky o dopadoch aplikácie nadmerného hnojenia môžu prispieť nielen k zefektívneniu poľnohospodárskeho manažmentu, ale aj k vyššej čistote životného prostredia.

## LITERATÚRA

- /1/ Goudarzi, M., Pakniyat, H.: Salinity Causes Increase in Proline and Protein Contents and Peroxidase Activity in Wheat Cultivars. *Journal of Applied Sciences*, 9, 2009: 348-353
- /2/ Kingston-Smith, A.H., Bollard, A.L., Minchin, F.R.: Stress-induced changes in protease composition are determined by nitrogen supply in non-nodulating white clover. *Journal of experimental botany*, 56, 2005: 745-753
- /3/ Konotop, Y., Mészáros, P., Spieß, N., Mistríková, V., Piršelová, B., Libantová, J., Moravčíková, J., Taran, N., Hauptvogel, P., Matušíková, I.: Defense responses of soybean roots during exposure to cadmium, excess of nitrogen supply and combinations of these stressors. *Molecular biology reports*, 2012
- /4/ Maralian, H., Ebadi, A., Didar, T.R., Haji-Eghrari, B.: Influence of water deficit stress on wheat grain yield and proline accumulation rate. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 2010
- /5/ Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., Suzuki, A.: Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105, 2010: 1141-1157
- /6/ Sanchez, E., Garcia, P.C., López-Lefebvre, L.R., Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Romero, L.: Proline metabolism in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike). *Journal of Plant Physiology*, 36, 2001: 261-265

## Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0197-10.

## OBSAH LABILNÍCH FRAKČÍ UHLÍKU VE VYBRANÝCH PŘÍRODNÍCH HUMUSOVÝCH LÁTKÁCH

### *LABILE CARBON CONTENT IN SELECTED NATURAL HUMIC SUBSTANCES*

Tomáš Živna<sup>1</sup>, Lubica Popíšilová<sup>1</sup>, Ida Drápelová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mendel University in Brno, Institute of Agrochemistry, Soil Science, Microbiology and Plant Nutrition, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic, xzivna@mendelu.cz

<sup>2</sup> Mendel University in Brno, Institute of Forest Ecology, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic.

#### **Summary**

Fractional composition and content of water extractable organic carbon and nitrogen was studied in mineral soils and selected lignohumate samples. Object of our study was *Luvic Chernozem* (Praha), *Haplic Cambisol* (Vatín), *Haplic Luvisol* (V.Knínice), *Gleyic Fluvisol* (Žabčice) and selected commercial lignohumates. Results showed high carbon content and low nitrogen content in lignohumates samples. C/N ratio varied widely in lignohumates. Dissolved organic carbon represented in mineral soils less than 3% of total carbon. Content of extractable inorganic and organic carbon in lignohumates was higher than in mineral soil. Quality and stability of soil humic substances was higher to compare with lignohumates.

*Key words: dissolved organic carbon, UV-VIS spectroscopy, lignohumate*

#### **Souhrn**

Frakční složení a obsah vodou extrahovatelného uhlíku byl studován v minerálních půdách a vybraných vzorcích lignohumátů. Objektem studia byly vzorky *černozeře luvické* (Praha), *kambizeře modální* (Vatín), *hnědozeře modální* (Veverské Knínice), *fluvizeře glejové* (Žabčice) a vybraných komerčních vzorků lignohumátů. Výsledky ukázaly u vzorků lignohumátů vysoký obsah uhlíku a nízký obsah dusíku, poměr C/N značně kolísá. Rozpuštěný organický uhlík v minerální půdě byl zastoupen méně než 3% z celkového uhlíku. Obsah extrahovatelného anorganického a organického uhlíku v lignohumátech byla vyšší než v minerální půdě. Kvalita a stabilita půdních humusových látek byla v porovnání s lignohumáty vyšší.

*Klíčová slova: rozpuštěný organický uhlík, UV-VIS spektroskopie, lignohumát*

#### **ÚVOD**

Přírodní humusové látky (HL) jsou při současném působení na mikroorganismy využívány jako půdní aktivátory. Využívána je hlavně jejich vysoká výměnná iontová schopnost, jež je mnohem vyšší než u huminových kyselin (HK) izolovaných z rašelin nebo hnědého uhlí. Lignohumáty se získávají z technického lignosulfonátu (= odpad při výrobě papíru). Proces oxidačně – hydrolytické destrukce lignosulfonátů je zaměřen na získání biologicky aktivních nízkomolekulárních HL rozpustných ve vodě /1, 2/. Půdní humusové látky představují soubor organických látek nahromaděných v půdě a na půdě, pocházejících z odumřelých zbytků rostlin, živočichů a mikroorganismů v různém stupni přeměn a v různém stupni smíšení s minerálním podílem. Rozlišujeme tyto čtyři frakce: rozpuštěná

organická hmota ( $< 45 \mu\text{m}$ ), rozdrobená organická hmota ( $53 - 2000 \mu\text{m}$ ), humus a inertní organická hmota /3/. V poslední době je věnována značná pozornost tzv. rozpuštěné organické hmotě (dissolved organic matter = DOM). Podle /4, 5, 6/ představuje tu část HL, které se nachází v kapalně fázi, tedy v půdním roztoku. Je definována jako kontinuum organických molekul s různou velikostí a strukturou, které procházejí filtrem o velikosti pórů  $45 \mu\text{m}$ . /4, 7, 8/. /9, 10/ předpokládají, že rozpuštěná organická hmota zabezpečuje přenos živin v rámci ekosystému i mezi ekosystémy. Ne všechny rozpustné HL musí být za konkrétních podmínek na stanovišti v půdním roztoku rozpuštěny, proto je třeba rozlišovat rozpuštěnou a vodou extrahovatelnou organickou hmotu (WEOM), což jsou HL, které lze z půdy extrahovat vodou. Pokud stanovujeme množství uhlíku, pak hovoříme o rozpuštěném/vodou extrahovatelném organickém uhlíku (DOC/WEOC). V současné době neexistuje jediná všeobecně akceptovaná metodika pro extrakci organické hmoty z půdy.

Kvalita přírodních humusových látek (HL) se nejčastěji hodnotí podle poměru huminových kyselin a fulvokyselin (HK/FK). Dále se využívají různé spektrální metody jako absorbance v UV-VIS oblasti spektra, FTIR spektra, fluorescence a  $^{13}\text{C}$  NMR spektroskopie.

Cílem našeho sledování bylo porovnat elementární složení, frakční složení a kvalitu lignohumátových preparátů a půdních humusových látek. Předpokládáme, že vzhledem k vysokému obsahu nízkomolekulárních látek budou mít tyto preparáty odlišné frakční složení, elementární složení a množství rozpuštěného organického i anorganického uhlíku.

## MATERIÁL A METODY

Přírodní humusové látky byly izolovány z černoze luvické (Praha). kambizemě modální (Vatín), hnědozemě modální (Lesonice) a fluvizemě glejové (Žabčice). Stanovení celkového uhlíku (TC) a dusíku (TN) bylo provedeno na analyzátoru LECO TruSpec CN /11, 12/. Frakční složení bylo stanoveno metodou krátké frakcionace podle /13/. Vodou extrahovatelná organická hmota (WEOM) byla ze vzorků získána následujícím postupem: Navážka vzorku byla suspendována v demineralizované vodě (extrakční poměr – viz Tab. 3) a suspenze byla protřepávána 30 minut na třepačce. Po 14 hodinách stání při laboratorní teplotě pak byly vzorky odstředěny (15 minut při 3000 ot./min ) a supernatant byl zfiltrován přes membránový filtr S-PAK<sup>™</sup> firmy Millipore o velikosti pórů  $0,45 \mu\text{m}$ . Filtr byl před filtrací vzorku promyt 200 ml horké demineralizované vody. Ve filtrátu byl stanoven celkový vázaný dusík podle /11/. Celkový organický uhlík byl stanoven podle /14/ metodou vysokoteplotního ( $720^\circ\text{C}$ ) katalytického spalování s chemiluminiscenční detekcí oxidů dusíku ve spalínách a se spektrometrickou detekcí  $\text{CO}_2$  v infračervené oblasti na analyzátoru Shimadzu TOC-VCSH s auto-samplerem ASI-5000 (Shimadzu, Kyoto, Japan).

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Kvalita půdních humusových látek a lignohumátů byla hodnocena podle elementárního složení, frakčního složení, podle obsahu rozpustných forem organického a anorganického uhlíku a dusíku a poměrů HK/FK, C/N. V tab. 1 uvádíme výsledky elementární analýzy, které indikují vysoký obsah uhlíku v lignohumátech (28-38,4 hm. %). V porovnání s půdními HL (1,9 - 2,3 hm. %) se jedná o deseti násobně vyšší hodnoty. Obsah dusíku se lišil u různých lignohumátů a pohyboval se od 0,15 do 0,95 %. Z výsledků elementární analýzy je patrný velmi vysoký a tudíž nepříznivý poměr C/N v lignohumátech. Poměr C/N u půdních HL byl od 9,5 do 11,5, což značí dostatek přístupného dusíku pro půdní mikroorganismy. Zjištěné hodnoty byly typické pro zemědělské půdy a pro daný půdní typ. U lignohumátů byl dále zjištěn vysoký obsah popelovin (více než 34%), což je výrazně odlišuje od půdních HL, kde je obsah popela do 8 % /15/. Frakční složení ukázalo, že optimální poměr HK/FK měly jak půdní HL, tak některé ze sledovaných lignohumátů. Porovnání poměru HK/FK u sledovaných

vzorků uvádíme na obr. 1. Zjištěné frakční složení HL je dáno v tab. 2. Obsah vodou extrahovatelného uhlíku a dusíku (organického i anorganického) je uveden v tab. 3. Byl zjištěn téměř stokrát vyšší obsah organického vodou extrahovatelného uhlíku v lignohumátech v porovnání s půdními HL. Dále lignohumáty obsahovaly desetkrát více anorganického vodou extrahovatelného uhlíku než půdní HL. Zatímco u lignohumátů přechází do roztoku téměř všechen uhlík (97-100%) a většina dusíku (71-85 %), u půdních vzorků jsme vyextrahovali méně než 3% celkového uhlíku (1,4-2,9 %) a asi 2 % celkového dusíku (1,5-2,4%). Tím se do značné míry eliminuje účinek nepříznivého poměru C/N, který přímo ovlivňuje činnost půdních mikroorganismů.

Tab. 1: Elementární složení půdních humusových látek a vybraných lignohumátů

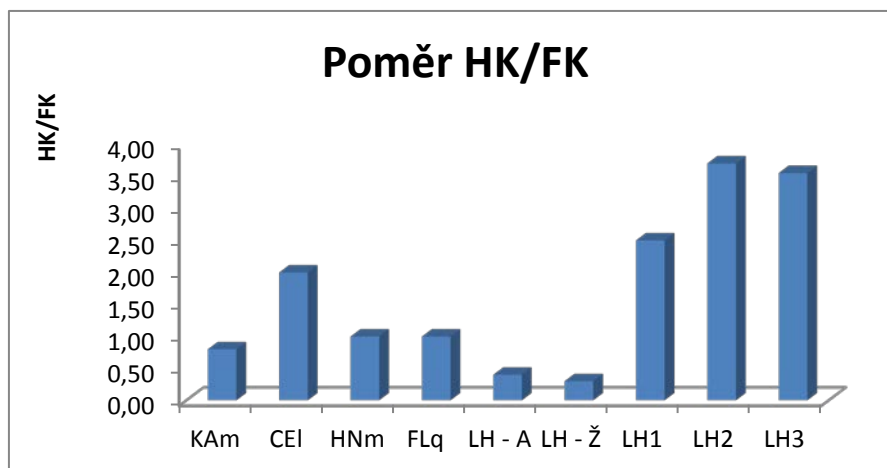
| Vzorky | C     | N    | C/N    |
|--------|-------|------|--------|
|        | hm %  | hm % |        |
| KAm    | 2,09  | 0,20 | 10,42  |
| CEl    | 2,22  | 0,20 | 11,32  |
| HNm    | 1,90  | 0,20 | 9,55   |
| FLq    | 2,30  | 0,22 | 10,45  |
| LH-A   | 38,40 | 0,40 | 95,95  |
| LH-Ž   | 37,30 | 0,44 | 84,78  |
| LH1    | 30,82 | 0,15 | 205,47 |
| LH2    | 31,03 | 0,15 | 206,87 |
| LH3    | 28,23 | 0,95 | 29,72  |

Tab. 2: Frakční složení půdních humusových látek a vybraných lignohumátů

|                  | HL<br>(g/kg) | HK (g/kg) | FK (g/kg) | HK/FK | Q4/6  |
|------------------|--------------|-----------|-----------|-------|-------|
| kambizem modální | 4,00         | 1,80      | 2,20      | 0,82  | 6,00  |
| černozem luvická | 6,00         | 4,00      | 2,00      | 2,00  | 3,60  |
| hnědozem         | 5,00         | 2,50      | 2,50      | 1,00  | 4,00  |
| fluvizem         | 5,00         | 2,50      | 2,50      | 1,00  | 4,00  |
| LHA (10x řed)    | 2850,00      | 735,00    | 204,00    | 3,60  | 4,70  |
| LHŽ (10x řed.)   | 2940,00      | 585,00    | 235,50    | 2,48  | 4,90  |
| LH1              | 2844,00      | 487,50    | 199,00    | 2,45  | 4,00  |
| LH2              | 2750,00      | 667,50    | 160,00    | 4,17  | 3,00  |
| LH3              | 2415,00      | 427,50    | 105,00    | 4,07  | 10,00 |

Tab. 3: Obsah vodou extrahovatelného uhlíku (WE TC) a dusíku (WE TdN) u vybraných přírodních HL

| Vzorek | Extrakční poměr | Vodou extrahovatelný uhlík a dusík v mg na g sušiny |       |       |       | Vyextrahovaný podíl v % z celkového obsahu prvku |      |
|--------|-----------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------|------|
|        | w/w             | TC                                                  | IC    | OC    | N     | C                                                | N    |
| LH1    | 1:30            | 319,8                                               | 17,36 | 302,4 | 1,09  | 97,1                                             | 78,3 |
| LH2    | 1:30            | 329,0                                               | 18,06 | 311,0 | 1,07  | 100,1                                            | 71,0 |
| LH3    | 1:30            | 292,6                                               | 7,23  | 285,4 | 9,10  | 98,7                                             | 85,1 |
| CEl    | 1:10            | 0,47                                                | 0,161 | 0,31  | 0,040 | 2,9                                              | 2,4  |
| KAm    | 1:10            | 0,29                                                | 0,041 | 0,25  | 0,029 | 1,4                                              | 1,5  |



Obr. 1: Poměr HK/FK u přírodních HL

Porovnání půdních HL a lignohumátových preparátů ukázalo, že se výrazně liší svou kvalitou a stabilitou. Podle zjištěného obsahu rozpustných forem uhlíku a dusíku lze u lignohumátů předpokládat, že téměř všechny obsažený uhlík a dusík je rozpustný a tudíž lehce dostupný půdním mikroorganismům.

#### LITERATURA

- /1/ Ložek, O., Varga, L.: Effect of foliar application of humates and nitrogen on quantitative and qualitative parameters of winter wheat. *Humic Substances in Ecosystems* 6, 2005: 110-114.
- /2/ Vrba, V., Konrádová, M., Němcová, L.: Aplikace humusového koncentráту v provozních podmínkách. *Rostl. Výroba*, 26, 1980: 239-246.
- /3/ Szombathová, N.: Chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti humusových látek jako ukazatel antropogenního vlivu v ekosystémech, vědecká monografie, SPU, Nitra, 2010: 96s.,
- /4/ Zsolnay, A.: Dissolved humus in soil waters. In: Piccolo, A. (Ed.), *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier, New York. S, 1996:171-223.
- /5/ Zsolnay, A.: Dissolved organic matter (DOM): artefacts, definitions, and functions. *Geoderma* 113, 2003: 187-209.
- /6/ Chantigny, M. H.: Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* 113, 2003: 357-380.
- /7/ Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J.H. Mihalzik, B., Matzner, E.: Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. *Soil Sci*, 165, 2000: 277-304.
- /8/ Rennert, T., Gockel, K. F., Mansfeldt, T.: Extraction of water-soluble organic matter from mineral horizons of forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 2007: 514-521.
- /9/ Cleveland, C.C., Neff, J.C., Townsend, R.A., Hood, E.: Composition, Dynamics and fate of leached dissolved organic matter in terrestrial ecosystems: Results from a decomposition experiment. *Ecosystems* 7, 2004: 275-285.
- /10/ Jones, W.: Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2006: 991-999.
- /11/ ČSN EN 12260 (757524) 2004. Jakost vod - Stanovení dusíku - Stanovení vázaného dusíku (TNb) po oxidaci na oxidy dusíku. (19)
- /12/ LECO TruSpec CN. TruSpec CN Carbon/Nitrogen Determinator. Instruction manual. LECO Corporation Michigan, 2006.
- /13/ Konosova, M. M., Bělčiková, N. P.: Uskorennij Metod Opredelenija Sostava Gumusa Mineralnych Počv. In: *Organičeskoe Veščestvo Počvy*. Moskva, 1963: 228-234.
- /14/ ČSN EN 1484 (757515) 1998. Jakost vod - Stanovení celkového organického uhlíku (TOC) a rozpuštěného organického uhlíku (DOC).
- /15/ Orlov, D. S.: *Chimija počv (Soil Chemistry)*. Moskva: Izd. MGU, 1985: 376s.

#### Poděkování

Příspěvek byl zpracován s podporou projektů NAZV QH 81200 a QJ 1210263.

## **VLIV APLIKACE 24-EPIBRASSINOLIDU A VODNÍHO DEFICITU NA VÝŠI VÝNOSU JARNÍ PŠENICE**

### ***APPLICATION EFFECT OF 24-EPIBRASSINOLIDE AND WATER DEFICIT ON YIELD OF SPRING WHEAT***

Ladislav Bláha<sup>1</sup>, Helena Hniličková<sup>2</sup>, František Hnilička<sup>2</sup>, Martin Matějovič<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507, 156 00 Praha-6, Ruzyně, lblaha@vurv.cz

<sup>2</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát

#### ***Summary***

Drought stress is a major threat to crop production on the world. Increasing drought influence on arable lands is a problem of paramount importance to crop production in many parts of the world and also in south and south-west Europe (but also in central E.) and especially in irrigated fields of arid and semi-arid regions. The results show the same response of all genotypes on individual variants of experiments. Grain yield of control plants ranged values of 538.17 g m<sup>-2</sup> and 565.53 g m<sup>-2</sup>. By contrast, in drought stress grain yield significantly decreased. After spraying stressed plants by 24-epibrassinolide was an increase in grain yield compared with plants grown under conditions of water deficit. The increase in grain yield was affected also by the variety; the application responds better tolerant variety compared to susceptible varieties.

*Key words: wheat, yield, 24-epibrassinolide, water deficit*

#### ***Souhrn***

Stres suchem je hlavní hrozbou pro rostlinnou výrobu. Zvýšení sucha a jeho vliv na orné půdy je prvořadý problém v rostlinné výrobě v mnoha částech světa, ale i v jižní a jihozápadní Evropě (ale již i ve střední Evropě) a to zejména v zavlažovaných oblastech, v suchých a v polosuchých oblastech. Z výsledků vyplývá shodná reakce všech genotypů na jednotlivé varianty pokusu. Výnos zrna kontrolních rostlin se pohyboval v rozpětí hodnot 538,17 g m<sup>-2</sup> až 565,53 g m<sup>-2</sup>. Naopak ve stresu sucha se výnos zrna průkazně snížil po postřiku stresovaných rostlin 24-epibrassinolidem bylo zaznamenáno zvýšení výnosu zrna ve srovnání s rostlinami pěstovanými v podmínkách vodního deficitu. Zvýšení výnosu zrna bylo ovlivněno ale i odrůdou. Na aplikaci epibrassinolidu lépe reaguje tolerantnější odrůda ve srovnání s odrůdami citlivými.

*Klíčová slova: pšenice, výnos, vodní deficit, 24-epibrassinolid*

## **ÚVOD**

Obecný vědecký názor vyplývající z posledních diskusí: rychlost změn klimatu a průběhu počasí je na některých lokalitách jihu Evropy tak značná, že téměř neexistují metody účinného boje. PROČ NENÍ VODA? Jedná se o podcenění dané problematiky. Více se o problému mluví, nežli se jedná.

Závěry nejsou příliš optimistické, ani když se mění vlastností rostlin šlechtěním, pomocí metod genového inženýrství, ale i introdukcí genových zdrojů. Změny skladby odrůd jsou pomalejší, nežli je dosavadní rychlost změn klimatu a variability průběhu počasí. Jedná se o situaci, která se především vyskytuje v jižní Evropě (Španělsko, některé oblasti Francie, Itálie a část Balkánu). V naší republice v období 1995-2006 bylo zaznamenáno 12 nejteplejších let

za dobu pozorování globální teploty. Nejproduktivnější oblastí pro obilniny není již jih Moravy a oblast kolem Labe ale okraje Českomoravské vysočiny. Uvažuje se o zavedení „Evropské databáze týkající se hospodaření s vodou“. V naší zemi je podle evropských předpokladů očekáván postupný vzrůst průměrné teploty o 2 °C a postupný pokles srážek. Tedy situace podobná jako na Balkáně, ale v mírnější podobě. Na některých pracovištích EU je zpracovávána analýza průběhu srážek a teploty během vegetace včetně půdních podmínek a pokouší se pro jednotlivé stávající i nové plodiny vytipovat rajony vhodné pro jejich produkci v celé Evropě. Otázkou je do jaké míry se tento záměr, tedy rajonizace EU podle možnosti pěstování jednotlivých plodin uplatní.

Z celosvětového hlediska se předpokládá dále globální oteplování, které však jiná skupina klimatologů popírá, nicméně shodně se očekává zvýšená variabilita průběhu počasí, tj. dlouhá období sucha, která mohou být protřídána záplavami. Je třeba počítat do konce století se zvýšenou hladinou moří o několik decimetrů (metrů), tedy s vysokou pravděpodobností budou zaplaveny některé nízko položené zemědělské oblasti. Bez ohledu na názory, opačné pravdou je, že se v současnosti hladiny moří zvýšily o 5 cm.

V EU je v oblasti Středomořího moře více jak 70 % vodních zdrojů využito pro závlahy a požadavky dále porostou, protože trend vývoje počasí v této oblasti je alarmující, kdy je zaznamenán postupný konstantní růst průměrných teplot a postupný pokles průměrných srážek v průběhu posledních několika desítek let. Proto se vypracovávají technologie využití i u odpadních vod. Podíváme-li se na jižní Evropu od Řecka po Portugalsko je patrný pokles spodní vody, ubývání srážek a ty jsou navíc nerovnoměrně rozdělené, průměrná teplota v době vegetace neustále stoupá, a množství srážek klesá. Jedna z nejhorších situací je na Balkáně. Obecně ve velké části Evropy se začíná více vody v zemědělství spotřebovávat, nežli se obnoví z přirozených zdrojů. Tato disproporce je značná zejména ve Španělsku. Příkladem ve světě jsou řeky v Kalifornii či Žlutá řeka v Číně, které prakticky díky spotřebě vody v zemědělství nedotečou do moře. Tři miliardy lidí ve světě trpí nedostatkem vody, 40 tisíc dětí umírá na pití nekvalitní vody každý den.

Toto byl nástin možného vývoje rozšíření vodního deficitu nejenom na již klasické oblasti Afriky, ale celého světa. Proto se hledají další možnosti, jak eliminovat negativní dopad vodního deficitu na prvovýrobu s pokud možno minimálními náklady. Jednou z cest je např. výběr vhodných odrůd, technologickými zásahy nebo použitím tzv. antistresových látek. Do této kategorie je možné zařadit také např. brassinosteroidy. Brassinosteroidy podle /4/ chrání rostlinu proti abiotickým i biotickým stresorům a podílejí se i na dalších procesech v rostlině, které vedou k tvorbě produkce. Brassinosteroidy zcela prokazatelně zvyšují výnos mnoha kulturních plodin, zvláště v suboptimálních podmínkách. Zároveň se jedná o látky, které se v rostlinách přirozeně vyskytují a neškodí životnímu prostředí. Jsou tedy vhodné k široké aplikaci v zemědělství pro zvýšení výnosu a ochranu rostlin /3/.

Na základě těchto skutečností bylo cílem našich pokusů sledovat vliv exogenní aplikace 24-epibrassinolidu a vodního deficitu na výši výnosu jarní pšenice.

## MATERIÁL A METODY

Jako pokusný materiál byly vybrány tři jarní odrůdy pšenice seté (*Triticum aestivum* L.) – AC Helena (Kanada), Lucia (Švédsko) a Molera (Švýcarsko). Osivo bylo poskytnuto Výzkumným ústavem rostlinné výroby, v. v. i. v Praze - Ruzyně, Odbor genetiky, šlechtění a

kvality produkce, Oddělení genobanky. Rostliny pšenice byly pěstovány ve skleníkových podmínkách, v nádobách se zahradním substrátem o objemu 5 dm<sup>3</sup> a pěstební ploše 0,03 m<sup>2</sup>. V každé nádobě bylo 2é rostlin.

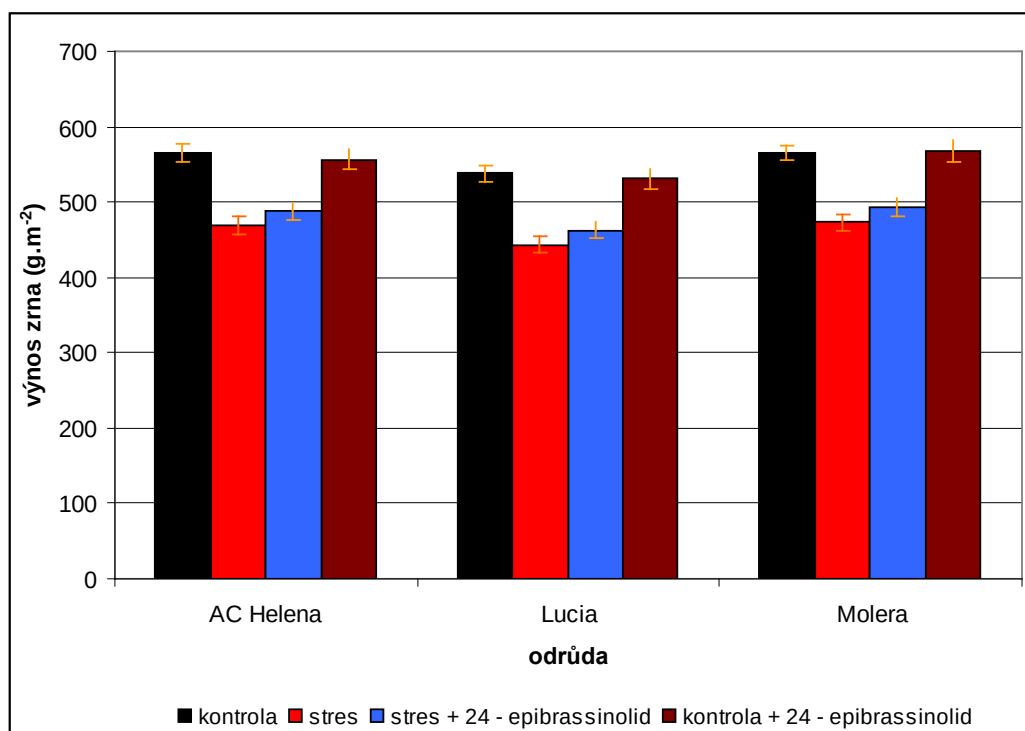
Rostlinám pšenice byl dodán 2x za vegetační období roztok s mikroelementy podle Bensona a 3x živný roztok podle Knopa.

Schéma pokusu zahrnovalo čtyři varianty: kontrola. U kontrolní varianty byla závlivka jednotná a bylo zaléváno na 31 % objemu půdní vlhkosti (vodní půdní potenciál -0,12 MPa). Varianta s omezenou závlivkou (stres) – vodní deficit. Vodní deficit byl navozen v počátku metání (51.DC) a ukončen v plné zralosti. Sucho bylo simulováno sníženou závlivkou na úroveň 17 % objemu půdní vlhkosti, tj. vodní půdní potenciál -1,28 MPa. Varianta kontrolní a stresovaná s aplikací 24-epibrassinolidu. Fytohormon 24-epibrassinolid byl aplikován postřikem ve fázi 61.DC. Použitá koncentrace byla 10-9 M. Fytohormon v dané koncentraci dodala firma PHPchem, s.r.o, se sídlem v Kutné Hoře,

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny pomocí počítačového programu „Statistica Cz verze 9.0“.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Na obr. 1 je uveden vliv varianty pokusu a jednotlivých odrůd na výši výnosu zrna. Z něho je patrná shodná reakce všech genotypů na jednotlivé varianty pokusu. Výnos zrna kontrolních rostlin se pohyboval v rozpětí hodnot 538,17 g m<sup>-2</sup> (Lucia) až 565,53 g m<sup>-2</sup> (Molera). Naopak ve stresu se výnos zrna průkazně snížil. Nejvyšší snížení bylo zaznamenáno u odrůdy AC Helena, kdy se výnos snížil o 17,11 %. Na druhé straně odrůda Molera snížila výnos nejméně (o 16,26 %).



Graf 1: Výnos zrna (g m<sup>-2</sup>) v závislosti na variantě pokusu a genotypu.

Po postřiku stresovaných rostlin 24-epibrassinolidem bylo zaznamenáno zvýšení výnosu zrna ve srovnání s rostlinami pěstovanými v podmínkách vodního deficitu, ale zvýšení



výnosu zrna bylo ovlivněno odrůdou, jak dokumentuje obr. 1. Ze sledovaných odrůd nejlépe na postřik 24-epibrassinolidu reagovala odrůda Molera. U této odrůdy činil rozdíl mezi ošetřenou a neošetřenou variantou  $19,72 \text{ g m}^{-2}$  (4,17 %), kdežto u odrůdy AC Helena byl rozdíl  $18,70 \text{ g m}^{-2}$  (3,99 %). Podle /1/ byly zjištěny genotypové rozdíly jarního ječmene na postřik IAA, obdobně jako v případě jarních pšenic na aplikaci 24-epibrassinolidu. K obdobným závěrům dospěl u pšenice /5, 6/, který sledoval vliv homobrassinolidu. Z jeho závěrů vyplývá, že na aplikaci homobrassinolidu lépe reaguje tolerantnější odrůda ve srovnání s odrůdami citlivými. Tento závěr byl potvrzen, neboť ze sledovaných odrůd na aplikaci 24-epibrassinolidu reagovala odolnější odrůda Molera.

V případě aplikace 24-epibrassinolidu na zavlažované rostliny se výnos ve srovnání s neošetřenou kontrolou neprůkazně snížil u odrůd AC Helena a Lucia, kdežto u odrůdy Molera se výnos neprůkazně zvýšil.

Závěrem je možné konstatovat, že nejnižší výnos zrna byl stanoven u odrůdy Lucia ( $493,71 \text{ g m}^{-2}$ ) a nejvyšší u odrůdy Molera ( $525,00 \text{ g m}^{-2}$ ). /2/ ve své práci uvádí, že existují genotypové rozdíly mezi odrůdami pšenice tvrdé. Rozdílnou výši výnosu zrna mezi sledovanými genotypy pšenice uvádí ve své práci také /7/.

#### LITERATURA

- /1/ Ashraf, M. Y., Azhar, N., Hussain, M.: Indole acetic acid (IAA) induced changes in growth, relative water contents and gas exchange attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under water stress conditions. *Plant Growth Regulation*, 50, 2006: 85–90.
- /2/ Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M.: Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 33, 1993: 399–409.
- /3/ Khripach, V., Zhabinskii, V., De-Groot, A.: Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of Botany*, 86, 2000: 441–447.
- /4/ Müssig, C.: Brassinosteroid Promoted Growth. *Plant Biology*, 7, 2005: 110–117.
- /5/ Sairam, R. K.: Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 173, 1994b: 11–16.
- /6/ Sairam, R. K.: Effect of moisture-stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. *Indian Journal of Experimental Biology*, 32, 1994a: 594–597.
- /7/ Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., Hassanpanah, D.: Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. *Pakistan-Journal-of-Biological-Sciences*, 11, 2008: 1330–1335.

#### Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MSM 6046070901, S grantu MŠMT ČR.

## VPLYV PODMIENOK PESTOVANIA A VYBRANÝCH FAKTOROV NA ÚRODU PŠENICE TVRDEJ

### *EFFECT OF CULTIVATION CONDITIONS AND SELECTED FACTORS ON THE YIELD OF DURUM WHEAT*

Eva Candráková<sup>1</sup>, Milan Macák<sup>2</sup>, Jaroslav Noskovič<sup>3</sup>

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FAPZ, Katedra rastlinnej výroby<sup>1</sup>; Katedra udržateľného poľnohospodárstva a herbológie<sup>2</sup>; Katedra enviromentalistiky a zoológie<sup>3</sup>, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra, Eva.Candrakova@uniag.sk

#### **Summary**

In years 2006/2007 was cultivated in the warm climate areas *Triticum durum* variety Istrodur. There was studied the effect of thawing and temperature conditions of the year as well as the impact of forecrop residues and catch crop on formation of the elements of fertility and yield of grain of wheat. Variants: var. 1- no crop residues with catch crop, var. 2- no crop residues and catch crop, var. 3- with crop residues and catch crop, var. 4- with crop residues and no catch crop. As a catch crop was planted *Sinapis alba*. Crop residues and catch crop was plowed with medium deep plowing. Highly significant the highest yield of grain was in year 2007 (5,46 t.ha<sup>-1</sup>) and the var. 4 after plowing crop residues without a catch crop. The significantly the lowest yield of grain was the var. 3 after plowing crop residues with a catch crop (5,21 t.ha<sup>-1</sup>).

**Key words:** *Triticum durum*, weather conditions, crop residues, catch crop, yield

#### **Súhrn**

V rokoch 2006/2007 a 2007/2008 bola v klimaticky teplej oblasti pestovaná pšenica tvrdá odroda Istrodur. Skúmaný bol vplyv vlhových a teplotných podmienok ročníka ako aj vplyv pozberových zvyškov predplodiny a medziplodiny na formovanie prvkov úrodnosti a úrody zrna pšenice. Varianty: var. 1-bez pozberových zvyškov s medziplodinou; var. 2-bez pozberových zvyškov bez medziplodiny; var. 3-s pozberovými zvyškami s medziplodinou; var. 4-s pozberovými zvyškami bez medziplodiny. Ako medziplodina bola vysiat horčica biela. Pozberové zvyšky a medziplodina boli zaorané strednou orbou. Vysoko preukázane najvyššia úroda zrna bola v roku 2007 (5,46 t.ha<sup>-1</sup>) a vo var. 4 po zaoraní pozberových zvyškov bez medziplodiny. Preukázane najnižšia úroda zrna bola na var. 3 po zaoraní pozberových zvyškov s medziplodinou (5,21 t.ha<sup>-1</sup>).

**Kľúčové slová:** *pšenica tvrdá, poveternostné podmienky, pozberové zvyšky, medziplodina, úroda*

## ÚVOD

Zrno pšenice tvrdej (*Triticum durum* Doesf.) sa pre svoju špecifickú kvalitu využíva najmä na výrobu bezvaječných cestovín. Tradiční pestovatelia v Európe sú v Taliansku, Španielsku, Grécku a vo Francúzsku. Najväčším producentom vo svete je Európska únia, Kanada a Turecko /1/. Na Slovensku sú pre pestovanie pšenice tvrdej vhodné pôdno-klimatické podmienky. Jej plochy pestovania tvoria približne 2 % (asi 8000 ha) z plôch pšenice letnej. Priemerné úrody zrna kolíšu v závislosti od podmienok jednotlivých ročníkov /9/. Technológia pestovania pšenice tvrdej je podobná, ako pšenice letnej. Základné obrábanie pôdy závisí od predplodiny, termínu jej zberu a pôdnych podmienok. Okrem iného, dôležitou

úlohou je zabezpečiť dobrá hospodárenie s vodou v pôde. Hĺbka obrábania pôdy ovplyvňuje aj príjem dusíka z pôdy, ktorý je pri hlbšom kyprení pôdy vyšší /6, 11/. Pre obsah humusu v pôde a výživu rastlín je dôležitý dostatok organickej hmoty v pôde. V súčasnom období sa v poľnohospodárskej výrobe nedostatok organickej hmoty nahrádza zaorávaním pozberových zvyškov a medziplodín.

## MATERIÁL A METÓDY

Pšenica tvrdá bola pestovaná v poľnom polyfaktorovom pokuse na lokalite Dolná Malanta s nadmorskou výškou 175 m. Agroklimatická podoblasť je veľmi suchá /8/. Pokus bol založený metódou dlhých pásov s kolmo delenými blokmi. Veľkosť parcelky bola 30 m<sup>2</sup>. Pôda je stredne ťažká, hlinitá s pH 5,9 a obsahom humusu 2,1 %. Obsah fosforu bol stredný a obsah draslíka dobrý. Vyhodnotené boli dva roky pestovania a to 2006/2007 a 2007/2008. Vysiata bola odroda Istrodur. Termín sejby: 2.10.2006, 9.10.2007. Výsevok: 4,5 mil. klíč. zrn na ha, hĺbka sejby 0,03 m, medziriadková vzdialenosť 0,125 m. Zber sa uskutočnil maloparcelkovým kombajnom 2.7.2007, 28.7.2008. Vyhodnotené boli varianty bez hnojenia priemyselnými hnojivami. Predplodinou pre pšenicu tvrdú bol hrach siaty. Var. 1 (KM)-bez pozberových zvyškov s medziplodinou; var. 2 (KB)-bez pozberových zvyškov bez medziplodiny; var. 3 (RM)-s pozberovými zvyškami s medziplodinou; var. 4 (RB)-s pozberovými zvyškami bez medziplodiny. Ako medziplodina bola vysiata horčica biela. Pozberové zvyšky a medziplodina boli zaorané do hĺbky 0,24 m. Odroda Istrodur bola vyšľachtená na Slovensku v Solaroch a zaregistrovaná v roku 1999. Má vysokú mlynársku kvalitu.

Cieľom pokusu bolo zistiť vplyv pozberových zvyškov a medziplodiny na formovanie prvkov úrodnosti a úrodu zrna pšenice tvrdej za konkrétnych poveternostných podmienok.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na Jesenné mesiace v roku 2006 boli veľmi teplé a veľmi suché. Mesiac december bol dokonca mimoriadne suchý. Zrážky tvorili iba 18,14 % z normálnych hodnôt. Najvlhší bol mesiac november (24,40 mm), ale v porovnaní s normálom to bolo iba 45,19 %. Jarné mesiace v roku 2007 sa vyznačovali veľkou premenlivosťou v množstve vlahy. Január bol vlhký, február normálny a marec mimoriadne vlhký. Nasledoval mimoriadne suchý apríl, veľmi vlhký máj a suchý jún a júl. Všetky jarné mesiace boli v porovnaní s dlhoročným normálom teplé až mimoriadne teplé.

Pestovateľský rok 2007/2008 sa vyznačoval tiež nevyrovnaným množstvom zrážok. Mimoriadne vlhký september, v roku 2007, vystriedal normálny október, za ktorým nasledoval vlhký november a suchý december. Okrem studeného septembra, boli jesenné mesiace teplotne normálne. V roku 2008 za studeným januárom nasledoval teplý február, ale marec, apríl a máj boli teplotne normálne. Mesiac jún bol teplý. Vlahovo normálny január vystriedal suchý február a mimoriadne vlhký marec. V apríli a máji boli vlahové podmienky normálne, jún bol vlhký a júl veľmi vlhký (obr. 1). Tieto podmienky sa prejavili na formovaní prvkov úrodnosti a úrode zrna pšenice tvrdej.

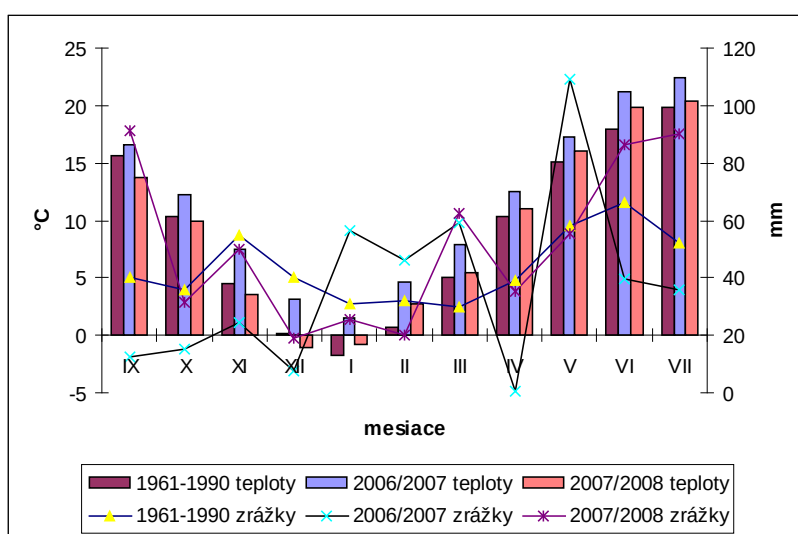
Autori /3, 4/ považujú za optimálne množstvo úhrn zrážok počas vegetácie 320 až 360 mm. V obidvoch rokoch pestovania tieto množstvá boli pšenici tvrdej k dispozícii, ale problém bol v ich nerovnomernom rozdelení.

Pri počiatočnom strese vo fáze odnožovania, úroda zrna pšenice tvrdej závisí hlavne od počtu zrn v klase a pri strese v období nalievania zrna je ovplyvňovaná hmotnosť zrna /7/.

V našich pokusoch sa väčší počet rastlín na jednotke plochy prejavil na väčšom počte klasov, v ktorých ale poklesol počet zŕn. V roku 2008 bolo o 2,44 ks zŕn v klase menej ako v roku 2007 (23,63 ks). Výsledky sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1: Prvky úrodnosti pšenice tvrdej odrody Istrodur v rokoch 2007 a 2008

| Varianty | Počet rastlín na m <sup>2</sup> (ks) |      | Počet klasov na rastline (ks) |      | Počet zŕn v klase (ks) |       |
|----------|--------------------------------------|------|-------------------------------|------|------------------------|-------|
|          | 2007                                 | 2008 | 2007                          | 2008 | 2007                   | 2008  |
| 1. KM    | 322                                  | 292  | 1,91                          | 2,16 | 22,17                  | 22,62 |
| 2. KB    | 294                                  | 314  | 2,00                          | 2,13 | 23,02                  | 21,52 |
| 3. RM    | 268                                  | 320  | 2,04                          | 2,00 | 24,28                  | 19,84 |
| 4. RB    | 264                                  | 352  | 2,25                          | 1,98 | 25,06                  | 20,80 |
| Priemer  | 287                                  | 320  | 2,05                          | 2,07 | 23,63                  | 21,19 |



Obr. 1 Teploty a zrážky zrážok v pestovateľskom ročníku 2006/2007 a 2007/2008 v porovnaní s dlhoročným normálom

HTS bola v roku 2008 o 1,34 g nižšia ako v roku 2007 (46,65 g). To sa prejavilo aj na úrode zrna (tabuľka 2). V roku 2007 bola preukazne vyššia úroda zrna (5,46 t.ha<sup>-1</sup>) ako v roku 2008 (5,41 t.ha<sup>-1</sup>). Najvyššia úroda zrna a technologická kvalita sa dosahuje v suchších oblastiach, keď je počas dozrievania menej zrážok a nízka relatívna vlhkosť vzduchu /10/. To sa potvrdilo aj na našich výsledkoch.

Vysoko preukazne najvyššia úroda zrna (5,67 t.ha<sup>-1</sup>) bola dosiahnutá na parcele s aplikáciou pozberových zvyškov predplodiny bez pestovanej medziplodiny. Môžeme to zdôvodniť dostatkom vlhky v jarných mesiacoch na rozdiel od jarných mesiacov v roku 2008, v ktorom sa striedali vlhké mesiace s mesiacmi s deficitom vody. Najnižšia úroda zrna bola po aplikácii pozberových zvyškov, ale s pestovanou medziplodinou. Príčinou bolo veľké množstvo organickej hmoty a nedostatok živín a vody na jej rozklad, čím bol spôsobený rastlinám stres. Autori [2; 5] pri pestovaní odrody Istrodur zaznamenali pozitívny vplyv zaorania pozberových zvyškov predplodiny na formovanie prvkov úrodnosti a úrodu zrna.

V priemere za obidva roky pestovania, najvyššia úroda zrna bola dosiahnutá po zaoraní pozberových zvyškov predplodiny, ale bez medziplodiny (5,67 t.ha<sup>-1</sup>). Naopak, preukazne najnižšia úroda zrna (5,21 t.ha<sup>-1</sup>) bola po zaoraní zvyškov predplodiny a medziplodiny.

Príčinou bol nedostatok vlhky na rozklad organickej hmoty, čím vzchádzajúce rastliny boli vystavené stresovým podmienkam, ktoré ovplyvnili aj formovanie prvkov úrodnosti.

Tab. 2: Úroda zrna a úroda slamy pšenice tvrdej odrody Istrodur vyhodnotené analýzou rozptylu, Tukey test

| Faktory pokusu | Úroda zrna (t.ha <sup>-1</sup> ) | Úroda slamy (t.ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Rok 2007       | 5,46b                            | 6,43a                             |
| 2008           | 5,41a                            | 6,66b                             |
| Varianty: 1 KM | 5,53c                            | 6,32b                             |
| 2 KB           | 5,33b                            | 6,94d                             |
| 3 RM           | 5,21a                            | 6,20a                             |
| 4 RB           | 5,67d                            | 6,73c                             |

Zrno: rok 0,05=0,0086, var. 0,05=0,0165; Slama: rok: 0,05=0,0165; var. 0,05=0,0210

Mimoriadne vlhký marec v roku 2008, v ktorom dosiahli zrážky 209 % oproti normálu, sa prejavil na tvorbe slamy, ktorá bola preukazne vyššia (6,66 t.ha<sup>-1</sup>) ako v roku 2007 (6,43 t.ha<sup>-1</sup>). Najvyššia úroda slamy bola na variante bez pozberových zvyškov s pestovaním medziplodiny (6,94 t.ha<sup>-1</sup>), ale vysoko preukazne najnižšia bola po zaoraní pozberových zvyškov s medziplodinou (6,20 t.ha<sup>-1</sup>), podobne ako aj úroda zrna (5,21 t.ha<sup>-1</sup>).

## LITERATÚRA

/1/ Eurostat. 2009. [online]. Dostupné na internete:

[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/main\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/main_tables)

/2/ Dupľák, Š.: Kvantitatívne a kvalitatívne parametre úrody Triticum durum (Doesf.) v závislosti od rôznych úrovní hnojenia a spôsobu obrábania pôdy : dizertačná práca. Nitra: SPU, 2003: 128 s.

/3/ Guinta, F., Motzo, R., Deidda, M.: Effect of drouth on yield and zield and yield components of durum wheat and triticale in a mediterranean enviroment. In *Field Crops Research* [online], 33, 1993: 399-409

/4/ Karabínová, M., Kulík, D., Procházková, M.: *Obilniny I. Pestovanie ozimných obilnín*. Nitra: ÚVTIP, 1999: 110 s.

/5/ Karabínová, M., Upohlav, T.: Vplyv obrábania pôdy a hnojenia na kvantitatívne a kvalitatívne parametre úrody pšenice tvrdej formy ozimnej. In *Zborník prednášok. VII. Zjazd Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV*. Bratislava, 2005: 40-43.

/6/ Kováč, K.: *Ekologické pestovanie rastlín*. Nitra: SPU, 2001: 162.

/7/ Simane, B.: *Drought Resistance in Durum Wheat : Thesis Wageningen*. Haag. gegevens Koninklijke bibliotheek, 1993: 159.

/8/ Šiška, B., Čimo, J.: Klimatická charakteristika rokov 2004 a 2005 v Nitre. SPU, 2006: 50.

/9/ Upohlav, T.: Úroda a kvalita pšenice tvrdej formy ozimnej v závislosti od vybraných pestovateľských faktorov v podmienkach kukuričnej výrobnjej oblasti : dizertačná práca, Nitra: SPU, 2010: 125.

/10/ Zalabai, J.: Analýza úrody, jej stability a hodnotenie technologickej akosti vybraných odrôd ozimnej tvrdej pšenice Triticum durum Doesf. : dizertačná práca. Nitra: VŠP, 1995: 87.

/11/ Žák, Š., Lehocká, Z., Klimeková, M., Bušo, R.: Bilancia pôdnej organickej hmoty v konvenčnom a bezorbovom obrábaní pôdy. In *Zborník vedeckých prác. Piešťany : SCPV-Výskumný ústav rastlinnej výroby* [online], 2006. Dostupné na internete: [http://www.agroporadenstvo.sk/rv/poda/bilancia\\_pody.pdf](http://www.agroporadenstvo.sk/rv/poda/bilancia_pody.pdf)

## Pod'akovanie

Práca bola podporená z projektu VEGA č. 1/0816/11 „Produkčný proces poľných plodín pri rôznych systémoch obrábania pôdy, aplikácie priemyselných hnojív a zvyškov rastlín s ohľadom na zachovanie a zvyšovanie úrodnosti pôdy“.

## **LÁTKOVÉ ZLOŽENIE SEMENA HRACHU SIATEHO V ZÁVISLOSTI OD PODMIENOK PESTOVANIA A FAKTOROV POKUSU**

### ***METABOLIC COMPOSITION OF GRAIN PEA DEPENDING ON GROWING CONDITIONS NAD EXPERIMENTAL FACTORS***

Eva Candráková<sup>1</sup>, Jaroslav Noskovič<sup>2</sup>, Jana Porhajašová<sup>2</sup>

SPU v Nitre, FAPZ, Katedra rastlinnej výroby<sup>1</sup>, Katedra environmentalistiky a zoológie<sup>2</sup>, Tr. A. Hlinku  
2, 949 76 Nitra, Eva.Candrakova@uniag.sk

#### ***Summary***

In the years 2005 and 2006, a field experiment with common peas, variety Danube was founded after wheat forecrop in the maize production area. The impact of the conditions of year on the content of substances in grain of common peas with two tillage treatments (O1 – medium deep ploughing to 0.24 m, O3- disc tools to 0.12 m and three fertilization treatments (H1 – control treatment, H2- inorganic fertilizers, H3 – inorganic fertilizers and incorporation of forecrop residues were studied. The significantly higher yield of grain was reached in year 2006 (4.53 t ha<sup>-1</sup>). In the year 2005, plants were exposed to stress conditions which reflected in a lower yield of grain (3.76 t ha<sup>-1</sup>). Metabolic composition of grain pea was influenced by year and fertilization treatments. Higher content of starch, protein and fat was in year 2006, the higher fibre content was in 2005 and ash content was the same in both evaluated years.

*Key words: common pea, tillage, fertilization, water, yield*

#### ***Súhrn***

V rokoch 2005 a 2006 bol založený poľný pokus s hrachom siatym, odroda Dunaj, po predplodine pšenici letnej forme ozimnej v kukuričnej výrobnnej oblasti. Skúmaný bol vplyv podmienok ročníka na obsah látok v semena hrachu siateho pri dvoch spôsoboch obrábania pôdy (O1-stredne hlboká orba do 0,24 m, O3-tanierové náradie do 0,12 m a variantoch hnojenia (H1-kontrolný variant, H2-hnojenie priemyselnými hnojivami, H3-hnojenie priemyselnými hnojivami a pozberovými zvyškami predplodiny. Preukazne vyššia úroda semena hrachu siateho bola v roku 2006 (4,53 t.ha<sup>-1</sup>). V roku 2005 boli rastliny vystavené stresovým podmienkam čo sa prejavilo nižšou úrodou semena (3,76 t.ha<sup>-1</sup>). Látkové zloženie semien hrachu siateho bolo ovplyvnené ročníkom a hnojením. Vyšší obsah škrobu, bielkovín a tuku bol v roku 2006, obsah vlákniny bol vyšší v roku 2005 a obsah popola bol rovnaký v oboch rokoch.

*Kľúčové slová: hrach siaty, obrábanie pôdy, hnojenie, voda, úroda*

#### **ÚVOD**

Rastovo-produkčný proces je denne ovplyvňovaný stresovými situáciami (nedostatok vlhky, vysoká teplota, nedostatok živín, choroby a škodcovia). Tento multistresový účinok výrazne limituje rastlinnú produkciu /3/. Na úrode sa významne podieľajú najmä medzné situácie t. j. nadmerný deficit vody, alebo prebytok vody a extrémne teploty /5/. Strukoviny sú významnou zložkou výživy ľudí aj zvierat. Odporúčaná dávka strukovín je 3,8-5,0 kg na

osobu za rok. Spotreba hrachu je 0,9 kg na osobu za rok. Hrach je veľmi cennou potravinou, pretože dodáva telu bielkoviny (20-26 %), sacharidy, tuky, vitamíny skupiny B, minerálne a stopové prvky. V kombinácii so zeleninou a obilninami poskytuje plnohodnotné bielkoviny /2; 7/. Škrob v semenách hrachu a šošovice tvorí až 47 % zo sušiny /11/. Obsah tukov v semenách hrachu je okolo 1 až 2 %. Strukoviny obsahujú 3 až 6 % hrubej vlákniny, ktorá v dnešnej rafinovanej a koncentrovanej strave veľmi chýba. Svojou prítomnosťou podporuje peristaltiku čreva, viaže na seba mnohé toxické látky, priaznivo ovplyvňuje (znižuje) hladinu krvného cholesterolu a podobne /1/. Denne sa odporúča konzumovať 25-30 g vlákniny /9/. Tvorba a formovanie nutričnej kvality je ovplyvňovaná agroekologickými podmienkami a odrodovými vlastnosťami /8/.

## MATERIÁL A METÓDA

Pokus byl Poľný polyfaktorový pokus s hrachom siatym bol realizovaný v rokoch 2005-2006 na pozemku experimentálnej bázy FAPZ SPU v Nitre. Územie sa nachádza v oblasti veľmi teplej so sumou priemerných denných teplôt vzduchu ( $TS \geq 10^\circ\text{C}$ ) za hlavné vegetačné obdobie 3 000  $^\circ\text{C}$  a viac. Lokalita má rovinatý charakter s nadmorskou výškou 175 m n m. Agroklimatická podoblasť je veľmi suchá, s miernou zimou /10/. Pôdnym typom je hnedozem na prolúviálnych zaspášaných sedimentoch, subtyp hnedozem kultizemná (HMa) s objemovou hmotnosťou pôdy 1470 až 1530  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pôdna reakcia je od 5,03 do 5,69. Pokus bol založený metódou dlhých pásov s kolmo delenými blokmi. Veľkosť pokusného variantu bola 30  $\text{m}^2$  (10x3 m) v štyroch opakovaníach.

*Spôsoby obrábanie pôdy:*

O1 - konvenčné obrábanie pôdy (orba do hĺbky 0,24 m),

O3 - minimálne obrábanie pôdy (tanierovanie do hĺbky 0,12 m).

*Variety hnojenia:*

H1 - kontrola bez hnojenia,

H2 - hnojenie priemyselnými hnojivami na základe rozboru pôdy a plánovanej úrody hrachu siateho (3  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

H3 - hnojenie priemyselnými hnojivami + zapravenie pozberových zvyškov predplodiny (pšenica letná forma ozimná).

Živiny boli doplnené na základe bilančnej metódy podľa obsahu živín v pôde na úrodu 3  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  semena hrachu siateho podľa normatívu odberu živín na 1 tonu úrody: N 63 kg, P 7,4 kg, K 37,4 kg (4).

Termín sejby: 6. 4. 2005; 6. 4. 2006. Termín zberu: 15. 7. 2005; 18. 7. 2006.

Metódy stanovenia obsahu látok v semene hrachu siateho: bielkoviny podľa Barsteina, škrob polarimetricky Ewersovou metódou, tuk extrakčnou metódou podľa Soxhleta (prístroj DET-GRAS), vlákna bola stanovená na zariadení DOSI-FIBER.

Tab. 1: Teploty a zrážky v rokoch 2005-2006

| Rok                          | Mesiac |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |        |
|------------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
|                              | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12    | Celkom |
| Zrážky (mm)                  |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |        |
| 1961-1990                    | 31,0   | 32,0 | 30,0 | 39,0 | 58,0 | 66,0 | 52,0 | 61,0 | 40,0 | 36,0 | 55,0 | 40,0  | 540,0  |
| 2005                         | 36,4   | 58,3 | 3,4  | 78,7 | 60,9 | 31,5 | 59,0 | 94,5 | 47,1 | 12,1 | 43,2 | 113,2 | 638,3  |
| 2006                         | 57,4   | 39,0 | 35,2 | 48,1 | 95,6 | 63,9 | 23,7 | 84,0 | 12,7 | 15,3 | 24,4 | 7,8   | 507,1  |
| Teplota ( $^\circ\text{C}$ ) |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |        |
| 1961-1990                    | -1,7   | 0,7  | 5,0  | 10,4 | 15,1 | 18,0 | 19,8 | 19,3 | 15,6 | 10,4 | 4,5  | 0,1   | 9,7    |
| 2005                         | -0,1   | -2,7 | 2,7  | 11,0 | 15,2 | 18,0 | 20,7 | 19,1 | 16,3 | 10,5 | 4,1  | 0,4   | 9,6    |
| 2006                         | -4,1   | -1,6 | 3,5  | 11,4 | 14,0 | 19,2 | 22,6 | 16,7 | 16,6 | 12,2 | 7,5  | 3,2   | 10,1   |

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vlahové podmienky pre pestovanie hrachu siateho v hodnotených rokoch 2005 a 2006 boli rozdielne. V roku 2005 bol úhrn zrážok vyšší o 98,3 mm ako dlhoročný priemer (540,0 mm) a v roku nižší o 32,9 mm. Lenže rozhodujúce je množstvo vlahy v priebehu vegetačného obdobia. Hrach spotrebuje za vegetáciu od 200 do 250 mm vody. Najväčšie nároky má v období kvitnutia, tvorby strukov a semien /8/. V roku 2005 bol hrach vysiaty v mesiaci apríl, ktorý bol veľmi vlhký, ale pred ním marec bol mimoriadne suchý. Mesiac máj bol normálny, ale jún veľmi suchý. Tieto extrémne rozdiely medzi mesiacmi sa prejavili na celkovej úrode semena hrachu siateho, ktorá bola v roku 2005 preukazne nižšia ( $3,76 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), ako v roku 2006 ( $4,53 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). V roku 2006 sa jarné mesiace marec a apríl vyznačovali normálnymi hodnotami zrážok v porovnaní s dlhoročným normálom. Mesiac máj bol veľmi vlhký a jún normálny. Porasty mali k dispozícii počas vegetačného obdobia dostatok pomerne vyrovnanej vlahovej ponuky a úroda semena bola v tomto roku preukazne vyššia (tab. 2).

Tab. 2: Vplyv sledovaných faktorov na úrodu semena hrachu siateho vyhodnotený analýzou rozptylu, Tukey testom

| Faktory pokusu               | Úroda semena<br>( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) | $\alpha$ 0,05 |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|
| Rok: 2005                    | 3,76a                                               | 0,1211        |
| 2006                         | 4,53b                                               |               |
| Obrábanie pôdy: O1-konvenčné | 4,17a                                               | 0,1211        |
| O3-minimalizačné             | 4,12a                                               |               |
| Hnojenie: H1                 | 3,74a                                               | 0,1793        |
| H2                           | 4,20b                                               |               |
| H3                           | 4,49c                                               |               |

Hnojenie priemyselnými hnojivami a pozberovými zvyškami predplodiny štatisticky preukazne zvýšilo úrodu semena hrachu siateho, ktorá bola najvyššia na variante H3 ( $4,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a najnižšia na nehnojenom variante H1 ( $3,74 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Priebeh poveternostných podmienok ročníka ovplyvnil aj kvalitu semena hrachu siateho. Najväčšie rozdiely vznikli v obsahu škrobu. Semená z roku 2006 obsahovali o 10,48 % menej škrobu ako v roku 2005 (49,70 %). Obsah bielkovín bol nižší o 2,40 % (23,08 %) v porovnaní s rokom 2005 (25,48 %). Obsah tuku bol nižší o 0,14 % v roku 2006 ako v roku 2005 (1,12 %). Obsah vlákniny bol vyšší v roku 2006 (5,71 %) ako v roku 2005 (4,78 %). Obsah popola v semenách hrachu bol v oboch rokoch rovnaký a tvoril 3,58 % podiel.

Spôsoby obrábania pôdy mali na zloženie semien hrachu siateho menší vplyv ako podmienky ročníka. Najväčší rozdiel vznikol v roku 2006 v obsahu škrobu, keď vyšší obsah (40,51 %) bol zistený pri obrábaní pôdy orbou v porovnaní s minimalizačným obrábaním (37,92 %). Naopak, obsah vlákniny sa zvýšil po minimalizačnom obrábaní pôdy (6,28 %) ako po orbe (5,13 %) v roku 2006. V roku 2005 viacej vlákniny obsahovali rastliny na variante s orbou o 0,57 % ako po minimálnom obrábaní pôdy (4,49 %).

Hnojenie hrachu siateho priemyselnými hnojivami a pozberovými zvyškami predplodiny jednoznačne pôsobilo pozitívne na zvýšenie obsahu bielkovín v semene hrachu siateho (tab. 3). Podobný trend bol aj v obsahu škrobu, tuku a popola, ale rozdiely medzi hnojenými variantmi a nehnojenými boli malé. Výraznejšie rozdiely boli zistené v obsahu



vlákniny. V roku 2005 pri obidvoch spôsoboch obrábania pôdy bol najvyšší obsah vlákniny na nehnojenom variante a v roku 2006 najviac vlákniny obsahovali varianty po aplikácii priemyselných hnojív a pozberových zvyškov predplodiny. Produkčným procesom a zložením semien hrachu siateho sa podrobnejšie zaoberajú v monografii autori /6/.

Tab. 3: Látkové zloženie semena hrachu siateho v roku 2005 a 2006

| Rok  | Obrábanie pôdy | Variety hnojenia      | Bielkoviny   | Škrob        | Tuk         | Vláknina    | Popol       |
|------|----------------|-----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|      |                |                       | %            |              |             |             |             |
| 2005 | O 1            | H1                    | 24,78        | 49,91        | 1,08        | 6,75        | 3,50        |
|      |                | H2                    | 26,16        | 49,07        | 0,99        | 4,37        | 3,55        |
|      |                | H3                    | 26,57        | 48,92        | 1,25        | 4,06        | 3,58        |
|      |                | <b>Priemer</b>        | <b>25,84</b> | <b>49,30</b> | <b>1,11</b> | <b>5,06</b> | <b>3,54</b> |
|      | O 3            | H1                    | 24,28        | 50,33        | 1,19        | 5,03        | 3,60        |
|      |                | H2                    | 25,03        | 49,91        | 1,13        | 4,26        | 3,61        |
|      |                | H3                    | 26,06        | 50,42        | 1,09        | 4,18        | 3,66        |
|      |                | <b>Priemer</b>        | <b>25,12</b> | <b>50,22</b> | <b>1,14</b> | <b>4,49</b> | <b>3,62</b> |
|      |                | <b>Priemer za rok</b> | <b>25,48</b> | <b>49,70</b> | <b>1,12</b> | <b>4,78</b> | <b>3,58</b> |
| 2006 | O 1            | H1                    | 22,33        | 40,18        | 1,17        | 5,14        | 3,60        |
|      |                | H2                    | 22,71        | 38,90        | 0,96        | 4,50        | 3,49        |
|      |                | H3                    | 24,19        | 42,44        | 1,08        | 5,74        | 3,59        |
|      |                | <b>Priemer</b>        | <b>23,08</b> | <b>40,51</b> | <b>1,07</b> | <b>5,13</b> | <b>3,56</b> |
|      | O 3            | H1                    | 23,09        | 38,70        | 0,74        | 5,28        | 3,51        |
|      |                | H2                    | 22,84        | 35,10        | 1,01        | 5,45        | 3,65        |
|      |                | H3                    | 23,34        | 39,97        | 0,89        | 8,13        | 3,62        |
|      |                | <b>Priemer</b>        | <b>23,09</b> | <b>37,92</b> | <b>0,88</b> | <b>6,28</b> | <b>3,59</b> |
|      |                | <b>Priemer za rok</b> | <b>23,08</b> | <b>39,22</b> | <b>0,98</b> | <b>5,71</b> | <b>3,58</b> |

## LITERATÚRA

- /1/ Bukovský, I.: Strukoviny. In *Výživa a zdravie*, 36, 1991: 175.
- /2/ Červená, D. a i.: *Liečba výživou*. Martin : Neografia, a.s, 1994: 213 s.
- /3/ Evans, L. T.: Crop evaluation, adaptation and yield. Cambridge Univ. Press., 1993: 486 p.
- /4/ Fecenko, J., Ložek, O. et al.: Výživa a hnojenie poľných plodín. Nitra: SPU, 2000.
- /5/ Hájek, D., Střída, J.: *Studium vlivu povětrnostních prvků na výnosnost a jakost hrachu : závěrečná zpráva*. Šumperk : VŠÚTL, 1974: 120 s.
- /6/ Hanáčková, E., Candráková, E., Macák, M.: Udržateľný technologický systém pestovania hrachu siateho (*Pisum sativum* L.) Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2010: 162 s.
- /7/ Javor, L., Surovčík, J. et al.: Technológia pestovania strukovín. VÚRV Piešťany: 2001: 60 s.
- /8/ Kostrej, A. a i.: Ekofyziológia produkčného procesu porastu a plodín. SPU v Nitre, 1998: 187 s.
- /9/ Syptáková, D.: Význam vlákniny vo výžive ľudí. In *Výživa a zdravie*, 46, 2001: 12-13.
- /10/ Šiška B., Čimo, J.: Klimatická charakteristika rokov 2004 a 2005 v Nitre. Nitra: SPU, 2006: 50 s.
- /11/ Vojtašáková, A. a i.: Obilniny a strukoviny - potravinové tabuľky. 1.vyd. Bratislava : VÚP, 1999: 265 s.

## Poděkování

Práca bola podporená z projektu VEGA č. 1/0816/11 „Produkčný proces poľných plodín pri rôznych systémoch obrábania pôdy, aplikácie priemyselných hnojív a zvyškov rastlín s ohľadom na zachovanie a zvyšovanie úrodnosti pôdy“.

## **ZMĚNY ODRŮDOVÝCH CHARAKTERISTIK PŠENICE DOSAŽENÉ ŠLECHTĚNÍM A PODMÍNĚNÉ PĚSTITELSKÝMI TECHNOLOGIEMI**

### ***CHANGES IN CHARECTERS OF CULTIVARS ARISEN FROM BREEDING AND CONDITIONED BY GROWING TECHNOLOGIES***

Jiří Hermuth, Ladislav Dotlačil, Anna Prohasková, Zdeněk Stehno, Václav Dvořáček  
Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., oddělení genové banky, Drnovská 507, 161 06 Praha 6  
hermuth@vurv.cz

#### ***Summary***

Two sets of Czech and Slovak winter wheat cultivars represented by 45 landraces and obsolete cultivars (grown until 1930) and 77 modern cultivars (grown in 1991 - 2008) were evaluated in field trials in the years 2010 and 2011. We studied 16 characters in these small-plot trials in CRI Prague. The data were analyzed in the both sets and differences between old and modern cultivars were estimated to characterize a gain arising from breeding. The old cultivars had longer stem and spike, lower spike productivity and Harvest index and, on the other hand, higher crude protein content. Modern cultivar over yielded the old ones in all spike productivity elements, protein content was lower. A close linkage between grain number per spike and grain weight per spike ( $r = 0,83$ ) was found in the both sets. However, correlations between grain weight per spike with number of grains per spikelet, thousand grain weight and spike lengths were much stronger in the old cultivars. The shorter stem and positive changes in spike productivity, jointly with a higher density of stands and inputs increase, cause the present high yield level in wheat.

*Key words: modern wheat cultivars, landraces, breeding*

#### ***Souhrn***

Dva soubory ozimé pšenice českého a slovenského původu (45 krajových a starých odrůd pěstovaných do roku 1930 a soubor 77 moderních odrůd pěstovaných v letech 1991 - 2008) byly hodnoceny v polních maloparcelkových pokusech ve VÚRV Praha. Pokusy byly zakládány v letech 2010 a 2011, hodnoceno bylo 16 znaků. Porovnáním průměrných hodnot a jejich variability u obou souborů byly zjišťovány změny dosažené šlechtěním. Pro staré odrůdy byla charakteristická výška rostlin a delší klas, nižší produktivita klasu a sklizňový index a vyšší obsah hrubých bílkovin. Moderní odrůdy měly kratší stéblo i klas a převyšovaly staré odrůdy ve všech prvcích produktivity klasu. Charakteristický byl naopak nižší obsah proteinu. U obou skupin je velmi úzký vztah mezi hmotností zrna na klas a počtem zrn na klas ( $r = 0,83$ ), korelace s počtem zrn na klásek, hmotností 1000 zrn a délkou klasu je však mnohem užší u starých odrůd. Zejména zkrácení stébla a změny v produktivitě klasu, spolu se zahuštěním porostů a nárůstem vstupů vedly ke zvýšení výnosů pšenice na současnou úroveň.

*Klíčová slova: moderní odrůdy pšenice, krajové a staré odrůdy, šlechtění*

## **ÚVOD**

Potřebu potravin pro rostoucí světovou populaci již nemůže zajistit zvyšování vstupů a rozšiřování zemědělské půdy (jejíž plocha na hlavu naopak významně klesla). Klíčem k řešení

potřeb lidstva při udržení setrvalého rozvoje a ochraně životního prostředí je šlechtění zemědělských plodin, založené na využívání biodiversity, nejnovějších poznatků vědy a biotechnologií. Od počátků vědecky založeného šlechtění uplynulo jedno století a šlechtění za tuto dobu dosáhlo mimořádných úspěchů. Všechny šlechtitelské techniky jsou však závislé na dostupnosti a využití nové genetické diversity, nalézané ať již v rámci druhu či přenesené z jiných příbuzných druhů. První revoluční pokrok ve šlechtění, jak je uvedeno v práci /4/ přineslo masové využití hybridizace ve šlechtění a heterózní šlechtění.

Zelená revoluce v šedesátých a sedmdesátých letech, využívající nových genů pro zkrácení stébla obilnin (zejména pšenice a rýže), snížení citlivosti k fotoperiodě a zlepšení rezistence ke stresům znamenala u pšenice ve světovém měřítku trojnásobné výnosy. Od osmdesátých let jsme potom svědky strmého rozvoje biotechnologií, zejména molekulární genetiky, a jejich stále většího uplatnění ve šlechtění-zejména při poznávání a využití genomu plodin, získávání a přenosu nové genetické diversity z často velmi rozdílných organismů (transgenózy) a při racionalizaci selekce s využitím genetických markerů. Využívání těchto metod urychlí a zefektivní tvorbu nových odrůd a umožní dosáhnout i zcela nových šlechtitelských cílů.

Pšenice je spolu s rýží nejvýznamnější světovou plodinou, u které došlo v posledním století k zásadnímu zlepšení produktivity a dalších hospodářsky významných znaků. Tak jako u řady jiných plodin, šlechtění pšenice vycházelo z krajových odrůd, pěstovaných koncem 19. a začátkem 20. století. Krajové odrůdy vznikaly kombinací přírodního výběru (vliv půdních a klimatických podmínek), technologií pěstování a jednoduchou selekcí prováděnou farmáři, jak uvádí práce /2/. Prvá generace známých odrůd pšenice pocházející z let 1900 - 1930 vznikala převážně také výběrem z domácích populací krajových odrůd, popř. křížením krajových odrůd s odrůdami zahraničními, jak je uvedeno v práci /1/. Krajové odrůdy a z nich odvozené staré šlechtěné odrůdy se zpravidla vyznačovaly adaptací k místním podmínkám a tolerancí k vyskytujícím se stresům, jak uvádí práce /7 a 10/. Krajové odrůdy daly základ domácímu šlechtění pšenice, jejich podíl v původech pěstovaných odrůd se ovšem v průběhu času postupně snižoval a u dnešních moderních odrůd je nízký, jak dokládá práce /9/, což ovšem souvisí se zužováním genetického základu v průběhu šlechtění. Jak je uvedeno v práci /3/, v roce 1927 stále 85 % pěstovaných odrůd pocházelo přímo z krajových odrůd a jen 15 % vzniklo křížením. V období mezi světovými válkami se vedle výnosu začal klást důraz na jakost. Krajové pšenice a z nich výběrem vyšlechtěné odrůdy měly rozhodující význam pro domácí zemědělství až do konce 30. let minulého století. Staly se základem další generace odrůd, vzniklých zpravidla křížením domácích krajových odrůd s odrůdami zahraničními a ovlivnily i šlechtění pšenice v okolních evropských zemích.

Cílem této práce bylo charakterizovat zkoušené odrůdy a zjistit šlechtitelský pokrok u ozimé pšenice, dosažený v českém a slovenském šlechtění za posledních cca 70 let. Práce vychází ze sledování vybraných hospodářských znaků u dvou souborů českých a slovenských odrůd ozimé pšenice, pěstovaných v uvedeném rozestupu let.

## MATERIÁL A METODA

Byly shromážděny dva soubory českých a slovenských odrůd pšenice seté (*Triticum aestivum* L. *emend. Fiori et Paol.*). První soubor obsahoval 45 krajových a starých odrůd ozimé pšenice, získané hromadným nebo individuálním výběrem, které byly pěstovány na

území Čech, Moravy a Slovenska do roku 1930. Druhý soubor současných moderních pšenic československé provenience obsahoval 77 odrůd, které byly vyšlechtěny v rozmezí let 1991 – 2008. Oba soubory byly hodnoceny ve dvou ročnících 2010 a 2011. Polní experiment byl založen na pozemcích Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v. i. v Praze - Ruzyni bezezbytkovým secím strojem TC 2700 na parcely o velikosti 2 m<sup>2</sup> bez opakování s výsevkem 400 zrn na m<sup>2</sup>. Během vegetace byly prováděny standardní aplikace herbicidů a insekticidů. V průběhu vegetace byly hodnoceny vybrané morfologické a fenologické parametry. Po sklizni byly provedeny rozborů klasů podle klasifikátoru pro rod *Triticum* L. Hodnocení technologické jakosti zrna zahrnovalo stanovení obsahu hrubých bílkovin, škrobu a tvrdosti zrna pomocí nepřímé metody NIR spektroskopie a stanovení Zeleného sedimentačního indexu (ČSN ISO 5529). Statistická hodnocení byla provedena softwarem Statistica 7.0 CZ a zahrnovalo výpočty jednoduchých korelací.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Porovnání 16 znaků u souboru starých a moderních odrůd je shrnuto v tabulkách 1 až 4. Na základě zjištěných údajů lze konstatovat změny průběhu ontogeneze rostlin, významné morfologické změny a především nárůst produktivity klasu. Změnila se i hodnota jednotlivých ukazatelů kvality zrna. Lze říci, že v důsledku šlechtění se zvýšila průměrná **ranost odrůd**, a to o cca 4 dny v metání, 3 - 4 dny v kvetení a o cca 2 dny v plné zralosti (Tab.1). Došlo tedy k menšímu prodloužení doby nalévání zrna při mírném zkrácení vegetace, což mohlo podpořit nárůst výnosového potenciálu moderních odrůd.

Tab. 1: Porovnání znaků u starých a moderních odrůd pšenice-fenologická data

| Skupiny odrůd         | Ranost - počet dnů od : 1.1. do |        |         |        |                       |        |               |        |
|-----------------------|---------------------------------|--------|---------|--------|-----------------------|--------|---------------|--------|
|                       | metání                          |        | kvetení |        | kvetení-plné zralosti |        | plné zralosti |        |
| (rozpětí let)         | průměr                          | Vk (%) | průměr  | Vk (%) | průměr                | Vk (%) | průměr        | Vk (%) |
| do roku 1930 (n = 45) | 154,2                           | 1,6    | 157,4   | 1,4    | 43,0                  | 2,9    | 200,4         | 0,9    |
| 1991 - 2008 (n = 77)  | 149,9                           | 1,4    | 153,7   | 1,1    | 44,5                  | 2,6    | 198,2         | 0,6    |

Podstatné změny lze sledovat u morfologických charakteristik, zejména ve výšce rostlin. Zatímco průměrná výška rostliny dosahovala u starých odrůd 124,5 cm, v souboru moderních odrůd to bylo necelých 90 cm (Tab. 2). Tuto zásadní změnu přineslo zejména uplatnění genů zakrslosti od šedesátých a sedmdesátých let minulého století. Touto zásadní morfologickou změnou se podstatně změnila distribuce asimilátů v rostlině (sklizňový index se zvýšil u moderních odrůd na 0,49, oproti hodnotě 0,39 u starých odrůd). Zkrácení stébla a s tím související zvýšení odolnosti k poléhání umožnilo rovněž intenzifikaci pěstování pšenice, zejména zahuštěním porostů a používáním vyšších dávek průmyslových hnojiv, zvláště dusíkatých, jak uvádí práce [5]. Se zkrácením stébla došlo i k mírnému zkrácení klasu (v průměru o 1 cm, což je 10,3 %), počet klásků v klasu však zůstal zachován (17,8 u starých odrůd, 17,9 u moderních odrůd). K pozorovatelným rozdílům dochází i u variability sledovaných znaků v obou souborech. Zatímco u znaků výška rostliny a do jisté míry i u počtu klásků na klas jsou hodnoty variačního koeficientu u moderních odrůd vyšší, u délky klasu a zejména pak u sklizňového indexu je trend zcela opačný. Svědčí to o relativní vyrovnanosti ukazatelů HI (který je spojený s vysokou produktivitou) a pozitivní korelací ( $r =$

0,31, viz tab. 5) mezi hmotnostmi zrna na klas a jeho délkou u moderních odrůd s vysokou produktivitou klasu.

Z uvedených dat vyplývá, že tedy došlo ke zvýšení hustoty klasu a jeho úložná kapacita se oproti starým odrůdám dále významně zvýšila lepší fertilitou klásků (Tab. 3). Zatímco průměrný počet zrn v klásku byl u souboru starých odrůd 1,98 u moderních odrůd to bylo 2,16 (tj. rozdíl 9 %). Tento nárůst se promítl do výrazně vyššího počtu zrna na klas u moderních odrůd (38,8 oproti 35,4 u starých odrůd, tj. zvýšení o 9,6 %), při nižší variabilitě tohoto znaku u moderních odrůd.

Tab. 2: Porovnání znaků u starých a moderních odrůd pšenice-morfologické znaky a sklizňový index

| Skupiny odrůd         | Výška porostu |        | Délka klasu |        | Počet klásků |        | Sklizňový |        |
|-----------------------|---------------|--------|-------------|--------|--------------|--------|-----------|--------|
|                       | (cm)          |        | (cm)        |        | na klas      |        | index     |        |
| (rozpětí let)         | průměr        | Vk (%) | průměr      | Vk (%) | průměr       | Vk (%) | průměr    | Vk (%) |
| do roku 1930 (n = 45) | 124,5         | 6,1    | 9,7         | 12,7   | 17,8         | 7,0    | 0,39      | 8,6    |
| 1991 - 2008 (n = 77)  | 89,7          | 7,8    | 8,7         | 11,6   | 17,9         | 7,8    | 0,49      | 6,1    |

Jak ukazují získaná data, na zvýšení produktivity klasu se podílela rovněž zvýšená hmotnost 1000 zrn (v průměru o 4,3 g, tj. 10 %) a tento znak vykázal u moderních odrůd rovněž nižší variabilitu (Vk 7,3 %). Výsledkem zvýšení obou základních prvků produktivity klasu je výsledný nárůst hmotnosti zrna na klas o 0,30 g (což je 19,6 %, při nižší variabilitě znaku u moderních odrůd). Tyto změny v produktivitě klasu, spolu se zahuštěním porostů a nárůstem vstupů vedly k nárůstu výnosů na současnou úroveň. V pracích /8 a 6/ je uvedeno na základě srovnání podobných souborů odrůd v opakovaných výnosových testech nárůst kolem 50%; přitom změny v produktivitě klasu jsou podobné. Lze tedy usuzovat na významný přínos šlechtění v důsledku změny morfologie a zčásti i fyziologie (delší období plnění zrna) nových odrůd.

Tab. 3: Porovnání znaků u starých a moderních odrůd pšenice-produktivita klasu

| Skupiny odrůd         | Hmotnost zrna |        | Počet zrn |        | Počet zrn   |        | HTZ    |        |
|-----------------------|---------------|--------|-----------|--------|-------------|--------|--------|--------|
|                       | z 1 klasu (g) |        | na 1 klas |        | na 1 klásek |        | (g)    |        |
| (rozpětí let)         | průměr        | Vk (%) | průměr    | Vk (%) | průměr      | Vk (%) | průměr | Vk (%) |
| do roku 1930 (n = 45) | 1,53          | 18,1   | 35,4      | 13,3   | 1,98        | 11,1   | 43,2   | 10,4   |
| 1991 - 2008 (n = 77)  | 1,83          | 13,3   | 38,8      | 11,6   | 2,16        | 11,1   | 47,5   | 7,3    |

Šlechtěním došlo rovněž k významným změnám dílčích ukazatelů kvality zrna (Tab. 4). Především se významně snížil obsah bílkovin v zrnu (z 15,9 % u starých odrůd na 14,1 % u odrůd moderních). Naopak mírně se zvýšila relativní tvrdost zrna (z 18,5 % na 19,6 %) a obsah škrobu (z 61,5 % na 63,4 %); téměř shodné jsou údaje pro Zelený test.

Tab. 4: Porovnání znaků u starých a moderních odrůd pšenice-znaky kvality zrna

| Skupiny odrůd         | Hrubé bílkoviny |        | Zelený test |        | Celkový obsah |        | Relativní tvrdost |        |
|-----------------------|-----------------|--------|-------------|--------|---------------|--------|-------------------|--------|
|                       | v suš. (%)      |        | (ml)        |        | škrobu (%)    |        | PSI (%)           |        |
| (rozpětí let)         | průměr          | Vk (%) | průměr      | Vk (%) | průměr        | Vk (%) | průměr            | Vk (%) |
| do roku 1930 (n = 45) | 15,9            | 4,60   | 32,7        | 28,9   | 61,5          | 1,6    | 18,5              | 12,2   |
| 1991 - 2008 (n = 77)  | 14,1            | 4,20   | 33,2        | 26,0   | 63,4          | 0,9    | 19,6              | 14,7   |

Změny odrůdových charakteristik se promítl i do změny vazeb mezi dílčími znaky a finálními ukazateli produktivity (hmotnost zrna na klas) a kvality (obsah bílkovin, Zelený test)

u starých a moderních odrůd. U obou skupin je velmi úzký vztah mezi hmotností zrna na klas a počtem zrn na klas ( $r = 0,83$ ), korelace s počtem zrn na klásek, hmotností 1000 zrn a délkou klasu je však mnohem užší u starých odrůd (Tab. 5). U obsahu bílkovin v zrnu je výraznější vazba tohoto znaku na výšku rostliny u starých odrůd, stejně jako velmi vysoká negativní korelace mezi obsahem bílkovin a obsahem škrobu ( $r = -0,92$ , oproti  $r = -0,69$  u moderních odrůd). Jedním z důvodů pro tyto rozdíly může být i větší genetická diversita v souboru starých odrůd, což bude předmětem samostatné publikace.

Tab. 5 Korelace mezi znaky u souborů starých ( $n=45$ ) a moderních ( $n=77$ ) odrůd pšenice.

| Korelované znaky     | Hmotnost zrna na klas |         | Obsah bílkovin |         | Zelený test |         |
|----------------------|-----------------------|---------|----------------|---------|-------------|---------|
|                      | Staré                 | Moderní | Staré          | Moderní | Staré       | Moderní |
| Doba kvetení-zralost | 0,18                  | -0,09   | 0,1            | -0,2    | 0,04        | 0,08    |
| Dny do zralosti      | 0,09                  | 0,27    | -0,09          | 0,19    | -0,19       | 0,05    |
| Výška rostlin        | 0,37                  | 0,07    | 0,48           | 0,24    | 0,06        | 0,28    |
| Délka klasu          | 0,66                  | 0,31    | 0,2            | 0,13    | 0,17        | 0,28    |
| Počet zrna na klas   | 0,83                  | 0,83    | 0,08           | 0,04    | 0,01        | 0,03    |
| Počet zrn na klásek  | 0,72                  | 0,67    | 0,08           | -0,02   | 0,1         | -0,09   |
| HTS                  | 0,74                  | 0,47    | 0,02           | 0,25    | -0,17       | 0,16    |
| HI                   | 0,04                  | 0,16    | -0,15          | -0,29   | -0,03       | -0,16   |
| Obsah škrobu         | -0,11                 | -0,27   | -0,92          | -0,69   | -0,32       | -0,34   |
| PSI                  | 0,02                  | -0,28   | -0,31          | -0,27   | -0,29       | -0,27   |

## LITERATURA

- /1/ Bareš, I., Dotlačil, L.: Stručný přehled povolených odrůd pšenice v ČSFR v letech 1921 až 1990 (Brief survey of wheat cultivars released in Czechoslovakia in the years 1921 – 1990). Rostlinná výroba, 1990: 1003–1006.
- /2/ Belay, G., Tesemma, T., Bechere, E., Mitiku, D.: Natural and human selection for purple-grain tetraploid wheats in the Ethiopian highlands. Genetic Resources and Crop Evolution, 42, 1995: 387–391.
- /3/ Chmelař F.: Dosavadní naše snahy o zlepšení jakosti domácí pšenice a docílení soběstačnosti v produkci pšenice. Referát k „Odborné anketě o jakosti československých pšeníc“, pořádané ČAV v roce 1931. Věstník ČAV, VII, 1931: 711.
- /4/ Hamilton, R.: Agriculture's Sustainable Future: Breeding Better Crops. Scientific American, June 2009: 63–75.
- /5/ Chloupek, O., Hrstková, P., Schweigert, P.: Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. Field Crops Research. 85, 2004: 167–190.
- /6/ Dotlačil, L., Hermuth, J., Stehno, Z., Dvořáček, V., Bradová, J., Leišová L.: How Can Wheat Landraces Contribute to Present Breeding? Czech J. Genet. Plant Breed., 46, 2010: S70–S74
- /7/ Sing, L., Fengrui, S., Beihai, G., Luandu, L., Chunming, P.: Evaluation of abiotic stress resistance in Hebei winter wheat genetic resources. Wheat Information Service, 85, 1997: 1–6.
- /8/ Mackey, J.: Demonstration of genetic gain from Swedish cereal breeding. Sveriges Utsädesföreningars Tidskrift, 103, 1993: 33–43.
- /9/ Martynov, S. P., Dobrotvorskaya, T. V., Stehno, Z., Dotlačil, L.: Genetic diversity of Czech and Slovak wheat cultivars in the period 1954–1994. Czech J. of Genetics Pl. Breeding, 33, 1997: 1 – 12
- /10/ Tahir, M., Pashayani, H., Miller, T. E., Koebner, R. M. D.: Characteristics of cultivated landraces and improved varieties of wheat (*T. aestivum* L.) in high altitude areas. Proc. of the seventh international wheat genetic symposium, Cambridge, UK, 13–19 July 1988, 1988: 895–900.

## Poděkování

Uvedená V této práci byly využity výsledky výzkumu získané v průběhu řešení projektů QH91184 a QH72251 podporovaných NAZV, MZe ČR.

## **ZMĚNY RYCHLOSTI VÝMĚNY PLYNŮ CIBULE KUCHYŇSKÉ V ZÁVISLOSTI NA ZÁLIVCE A APLIKACI AGRISORBU**

### ***CHANGES OF GAS EXCHANGE BY ONION PLANTS ACCORDING TO THE WATERING AND APPLICATION OF AGRISORB***

František Hnilička<sup>1</sup>, Martin Koudela<sup>2</sup>, Jaroslava Martinková<sup>1</sup>, Lenka Svozilová<sup>2</sup>

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, <sup>1</sup>katedra botaniky a fyziologie rostlin, <sup>2</sup> katedra zahradnictví, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, hnilička@af.czu.cz

#### ***Summary***

Gas exchange was measured in onions, cv. Všetana. Onions were grown in a foil cover. Trying included two variants: optimally irrigated (O) and reduced watering (S). The experimental and control plants was applied Agrisorb in spray form (s), coating of seeds (o) and without treatment (k). The concentration of the Agrisorb was 0, 1, 3, 5 g. The results show that the lower rate of gas exchange in plants have been variants S. Higher rate of gas exchange plants have grown with Agrisorbin the form of seed coating. Transpiration rate was similar in both variants attempt at higher concentrations of 1 g. Rate of photosynthesis of stressed plants was higher in concentration of 3 g and the case of control plants by concentration of 5 g.

*Key words: onion, Allium cepa, water stress, photosynthesis rate, transpiration rate, Agrisorb*

#### ***Souhrn***

U rostlin cibule kuchyňské, odrůdy Všetana, byla ve foliovém krytu měřena gazometricky rychlost výměny plynů. Rostliny cibule byly pěstovány ve foliovém krytu ve dvou základních variantách – optimálně zavlažovaná a se sníženou záhlavkou. Na pokusné a kontrolní rostliny byl aplikován Agrisorb ve formě spreje (s) nebo obalování osiva (o). Koncentrace testované látky byla 0, 1, 3, 5 g. Varianta bez ošetření byla označena jako k. Z výsledků pokusů vyplývá, že nižší rychlost fotosyntézy a transpirace mají rostliny cibule pěstované se sníženou záhlavkou. Vyšší rychlost výměny plynů mají rostliny pěstované s Agrisorbem, jenž byl aplikován při obalování osiva. Rychlost transpirace byla u obou variant pokusu vyšší u koncentrace 1 g. Rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin byla vyšší u koncentrace 3 g a v případě rostlin optimálně zavlažovaných u koncentrace 5 g.

*Klíčová slova: cibule, Allium cepa, fotosyntéza, transpirace, vodní stres, Agrisorb*

## **ÚVOD**

Z celosvětového pohledu je limitujícím faktorem zemědělské produkce nedostatek vody /1/, který ovlivňuje nejenom výši produkce, ale také její kvalitu /7/. Omezení výše výnosu a změny jeho kvality jsou dány především tím, že rostlina reaguje na nedostatek vody omezením svých metabolických procesů, kdy podle /11/ vodní deficit limituje výměnu plynů, tedy fotosyntézu. V rámci snížení negativního dopadu vodního deficitu nejenom na rychlost fotosyntézy je možné využít i tzv. antistresové látky, jako jsou hydrofilní polymery (např. Agrisorb), které ovlivňují hospodaření s vodou, neboť podporují retenční schopnost půdy.

Agrisorb je synteticky vyrobený copolymer polyakrylamidu, který má snížit ovát vodní ztráty, zvyšovat PVK, zpomalovat vysychání substrátu /2/. Vzhledem k těmto skutečnostem bylo cílem našich pokusů sledovat bezprostřední účinek vláhového deficitu a aplikace Agrisorbu na rychlost výměny plynů u rostlin cibule, neboť cibule podle /6/ patří mezi rostliny citlivé na vodní stres.

## MATERIÁL A METODA

Jako pokusný materiál byla vybrána cibule kuchyňská, odrůda Všetana. Cibule kuchyňská byla pěstována z přímého výsevu, ve fóliovém krytu. Foliový kryt se nachází v Pokusné a demonstrační stanici v Troji. Schéma pokusu zahrnovalo 9 variant: kontrola (O) a stres (S). Varianta stresovaná představovala sníženou závlivku na hodnotu 35 % PVK. Na pokusné a kontrolní rostliny byl aplikován Agrisorb ve formě spreje (s) nebo obalování osiva (o). Koncentrace testované látky byla 0, 1, 3, 5 g. Varianta bez ošetření je označena jako k.

U rostlin cibule byla v týdenních intervalech od 9. 6. do 27. 7. měřena rychlost fotosyntézy a transpirace. Uvedené charakteristiky byly měřeny přenosným infračerveným analyzátozem LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.). Jako optimální byla nastavena teplota 25 °C a hustota ozáření 650  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány pomocí StatSoft, Inc. (2001) -STATISTICA Cz [Softwarový systém na analýzu dat], verze 9.0.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Rychlost transpirace stresovaných rostlin byla v rámci jednotlivých variant pokusu relativně vyrovnaná, jak demonstruje tab. Ia. Z uvedené tabulky vyplývá, že průkazně nejnižší rychlost transpirace byla zaznamenána u rostlin z varianty FO-0s - 1,09  $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a naopak nejvyšší u varianty FS-5o – 2,02  $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Tab. Ia: Průměrná rychlost transpirace stresovaných rostlin ( $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) v závislosti na variantě pokusu

| varianta | Transpirace<br>( $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) | Sm.<br>odch. | -95,00 % | +95,00 % |
|----------|-------------------------------------------------------------------|--------------|----------|----------|
| S-k      | 2,01 <sup>d, e, f</sup>                                           | 0,36         | 1,295    | 2,73     |
| S-0o     | 1,77 <sup>c, d, e</sup>                                           | 0,16         | 1,45     | 2,08     |
| S-1o     | 1,79 <sup>c, d, e</sup>                                           | 0,19         | 1,41     | 2,18     |
| S-3o     | 2,05 <sup>d, e, f</sup>                                           | 0,19         | 1,67     | 2,42     |
| S-5o     | 2,02 <sup>d, e, f</sup>                                           | 0,20         | 1,62     | 2,43     |
| S-0s     | 1,09 <sup>a</sup>                                                 | 0,11         | 0,87     | 1,30     |
| S-1s     | 2,16 <sup>d, e, f</sup>                                           | 0,23         | 1,69     | 2,62     |
| S-3s     | 1,69 <sup>b, c, d</sup>                                           | 0,12         | 1,44     | 1,94     |
| S-5s     | 1,26 <sup>a, b</sup>                                              | 0,10         | 1,06     | 1,45     |

a, b, c, d, e, f - statisticky významné rozdíly mezi variantami.

V případě rostlin optimálně zavlažovaných je možné konstatovat v souladu s výsledky uvedenými v tab. Ib, že rychlost transpirace se pohyboval v intervalu hodnot od 1,48  $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (FO-0o) do 2,49  $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (FO-5s).

Z uvedených tabulek dále vyplývá, že vyšší hodnoty transpirace vykazují rostliny optimálně zavlažované oproti stresovaným rostlinám. Uvedené výsledky jsou v souladu např. /8, 10/, kteří sledovali vliv vodního deficitu na rychlost transpirace u pšenice.

V případě aplikace Agrisorbu je možné konstatovat, že rostliny lépe reagují u obou variant na aplikování v podobě obalování osiva. Rychlost transpirace kontrolních a



stresovaných rostlin byla ovlivněna také koncentrací Agrisorbu, kdy u varianty kontrolních se rychlost transpirace zvyšovala se zvyšující se aplikační dávkou Agrisorbu, jak dokazuje tab. Ib. Zvýšení rychlosti transpirace při aplikaci Agrisorbu potvrzuje ve své práci s javorem babykou např. /9/. Z tabulky je patrné, že není průkazný rozdíl mezi dávkou 1 a 3 g. U rostlin stresovaných byla transpirace nejvyšší u koncentrace 1 g a naopak nejnížší u koncentrace 5 g, viz tab. Ia.

Tab. Ib: Průměrná rychlost transpirace kontrolních rostlin ( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) v závislosti na variantě pokusu

| varianta | Transpirace<br>( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Sm.<br>odch. | -95,00% | +95,00% |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|
| O-k      | 2,21 <sup>e, f</sup>                                                                 | 0,16         | 1,89    | 2,53    |
| O-0o     | 1,48 <sup>a, b, c</sup>                                                              | 0,14         | 1,19    | 1,76    |
| O-1o     | 1,77 <sup>c, d, e</sup>                                                              | 0,11         | 1,55    | 1,99    |
| O-3o     | 1,80 <sup>c, d, e</sup>                                                              | 0,12         | 1,56    | 2,05    |
| O-5o     | 1,97 <sup>c, d, e</sup>                                                              | 0,15         | 1,67    | 2,27    |
| O-0s     | 1,80 <sup>c, d, e</sup>                                                              | 0,11         | 1,58    | 2,02    |
| O-1s     | 1,71 <sup>b, c, d</sup>                                                              | 0,15         | 1,40    | 2,01    |
| O-3s     | 1,64 <sup>b, c, d</sup>                                                              | 0,12         | 1,39    | 1,88    |
| O-5s     | 2,49 <sup>f</sup>                                                                    | 0,18         | 2,13    | 2,86    |

a, b, c, d, e, f - statisticky významné rozdíly mezi variantami.

Tab. IIa: Průměrná rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) v závislosti na variantě pokusu

| varianta | Fotosyntéza<br>( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Sm.<br>odch. | -95,00% | +95,00% |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|
| S-k      | 5,26 <sup>a</sup>                                                               | 0,18         | 4,91    | 5,62    |
| S-0o     | 5,29 <sup>a</sup>                                                               | 0,25         | 4,80    | 5,78    |
| S-1o     | 6,76 <sup>e, f, g</sup>                                                         | 0,32         | 6,11    | 7,41    |
| S-3o     | 6,47 <sup>c, d, e, f</sup>                                                      | 0,29         | 5,88    | 7,05    |
| S-5o     | 7,31 <sup>g</sup>                                                               | 0,28         | 6,76    | 7,86    |
| S-0s     | 5,46 <sup>a, b</sup>                                                            | 0,16         | 5,14    | 5,78    |
| S-1s     | 5,74 <sup>a, b, c, d</sup>                                                      | 0,28         | 5,19    | 6,29    |
| S-3s     | 5,64 <sup>a, b, c</sup>                                                         | 0,18         | 5,28    | 6,01    |
| S-5s     | 6,19 <sup>b, c, d, e</sup>                                                      | 0,25         | 5,69    | 6,69    |

a, b, c, d, e, f, g - statisticky významné rozdíly mezi variantami.

Další měřenou charakteristikou výměny plynů byla rychlost fotosyntézy. Průměrná rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin se pohybovala v rozpětí hodnot od 5,26  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (FS-k) do 7,31  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (Fs-5o), viz tab. IIa. Z uvedené tabulky dále vyplývá, že rychlost fotosyntézy mezi jednotlivými variantami pokusu v rámci stresovaných rostlin byla poměrně vyrovnaná, bez výraznějších diferencí.

Z tab IIb vyplývá, že u rostlin optimálně zavlažovaných byla rychlost fotosyntézy velmi vyrovnaná v rámci testovaných variant pokusu. I přesto je možné uvést, že průkazně nejnížší fotosyntézu vykazovaly rostliny bez aplikace Agrisorbu – 7,16  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na straně druhé nejvyšší fotosyntéza byla naměřena u varianty s 5 g Agrisorbu aplikovaného ve formě spreje (6,99  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Z uvedených tabulek je dále patrné, že průkazně vyšší hodnoty fotosyntézy vykazují rostliny optimálně zavlažované oproti stresovaným rostlinám. Získané závěry jsou v souladu s pracemi např. /3, 4, 5/.

Tab. IIb: Průměrná rychlost fotosyntézy kontrolních rostlin ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) v závislosti na variantě pokusu

| varianta | Fotosyntéza<br>( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Sm.<br>odch. | -95,00% | +95,00% |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|
| O-k      | 7,16 <sup>d, e</sup>                                                            | 0,33         | 6,51    | 7,82    |
| O-0o     | 6,61 <sup>b, c, d, e</sup>                                                      | 0,28         | 6,05    | 7,16    |
| O-1o     | 6,75 <sup>c, d, e</sup>                                                         | 0,32         | 6,11    | 7,40    |
| O-3o     | 6,56 <sup>b, c, d, e</sup>                                                      | 0,15         | 6,26    | 6,85    |
| O-5o     | 6,49 <sup>a, b, c, d, e</sup>                                                   | 0,31         | 5,88    | 7,10    |
| O-0s     | 6,40 <sup>a, b, c, d</sup>                                                      | 0,28         | 5,84    | 6,98    |
| O-1s     | 6,87 <sup>c, d, e</sup>                                                         | 0,24         | 6,39    | 7,34    |
| O-3s     | 6,61 <sup>b, c, d, e</sup>                                                      | 0,29         | 6,03    | 7,19    |
| O-5s     | 6,99 <sup>d, e</sup>                                                            | 0,29         | 6,41    | 7,58    |

a, b, c, d, e - statisticky významné rozdíly mezi variantami.

V případě aplikace Agrisorbu je možné konstatovat, že rostliny lépe reagují u obou variant na aplikování v podobě obalování osiva. Rychlost fotosyntézy kontrolních a stresovaných rostlin byla ovlivněna také koncentrací Agrisorbu, kdy u varianty kontrolních se rychlost fotosyntézy snižovala se zvyšující se aplikační dávkou Agrisorbu, jak dokazuje tab. IIb. Z tabulky je patrné, že není průkazný rozdíl mezi dávkou 0 a 3 g. U rostlin stresovaných naopak rychlost fotosyntézy narůstala se zvyšující se aplikační dávkou Agrisorbu v porovnání s 0 a 5 g, viz tab. IIa. Nižší hodnoty fotosyntézy vykazovaly rostliny pěstované se 3 g Agrisorbu v porovnání s variantami 1 a 5 g. Změny rychlosti fotosyntézy v závislosti na aplikaci Agrisorbu potvrdil u javoru babyky např. /9/.

## LITERATURA

- /1/ Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P., Royo, C.: Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? *Annals-of-Botany-(London)*, 89, 2002: 925–940.
- /2/ Borowski, E., Michaek, S.: Effect of state produced hydrogel addition to peat substrate on yield and quality of lettuce fed with N-NO<sub>3</sub> or N-NH<sub>4</sub>. Part I. Yield and gas exchange of plants. *Annales Universitatis Mariae Curie Sklodowska Sectio EEE. Horticultura*, 6, 1998: 103–106.
- /3/ Cornic, G.: Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5, 2002: 187–188.
- /4/ Griffiths, H., Parry, M. A. J.: Plant Responses to Water Stress. *Annals of Botany* 89, 2002: 801–802.
- /5/ Maroco, J. P., Rodrigues, M. L., Lopes, C., Chaves, M. M.: Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought-metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Biology*, 29, 2002: 451–459.
- /6/ Popandron, N., Sbirciog, G., Tudora, M., Tudora, C.: Researches Regarding the Selection of Onion Genotypes Tolerant to Drought. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 69, 2002: 419–420.
- /7/ Rouphael, Y., Cardarelli, M., Schwarz, D., Franken, P., Colla, G.: Effects of Drought on Nutrient Uptake and Assimilation in Vegetable Crops, 2012: 171–195.
- /8/ Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., Shukla, D. S., Ram, S.: Metabolic activity and grain yield under moisture stress in wheat genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*, 33, 1990: 226–231.
- /9/ Salaš P., Sochor J., Litschmann T., Sasková H.: Studie fotosyntetické odezvy *Acer campestre* pěstovaného na aridním stanovišti. *Úroda, vědecká příloha*, 2011, s. 538 – 549.
- /10/ Shan, CH. J.: Effect of different drought soil on water physiology and biomass of winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 26, 2006: 127–129.
- /11/ Teraza, W., Mitchell, V. J., Driscoll, S. D., Lawlor, D. W. : Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401, 1999: 914–917.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného projektu NAZV QH 81110.

## **RYCHLOST FOTOSYNTÉZY U VYBRANÝCH DRUHŮ V PROSTŘEDÍ IMISNĚ OVLIVNĚNÝCH BUKOVÝCH EKOSYSTÉMŮ**

### ***THE RATE OF PHOTOSYNTHESIS FOR SELECTED SPECIES IN BEECH ECOSYSTEMS STRESSED BY AIRBORNE POLLUTION***

Helena Hniličková<sup>1</sup>, František Hnilička<sup>1</sup>, Margita Kuklová<sup>2</sup>, Ján Kukla<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, hnlickova@af.czu.cz

<sup>2</sup> Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 2, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, kuklova@savzv.sk

#### **Summary**

The research was carried out in beech geobiocoenoses in the Kremnické and Štiavnické vrchy Mts, on monitoring plots situated at various distances from the pollution source (an aluminium plant) in Žiar nad Hronom. The rate of photosynthesis was measured in *Fagus silvatica* L. and selected herb species. The obtained results show that plants in terms of air pollution have a significantly lower rate of photosynthesis.

*Key words: airborne pollution stress, rate of photosynthesis, beech ecosystems*

#### **Souhrn**

Výzkum se uskutečnil v bukových geobiocenózách Kremnických a Štiavnických vrchů. Sledovaná MP se nacházejí v různé vzdálenosti od zdroje emisí (hliníkárna) v Žiari nad Hronom. Byla měřena rychlost fotosyntézy u *Fagus silvatica* L. a vybraných druhů bylin. Ze získaných výsledků vyplývá, že rostliny rostoucí v podmínkách znečištění atmosféry mají průkazně nižší rychlost fotosyntézy v porovnání s rostlinami z kontrolních podmínek.

*Klíčová slova: imise, rychlost fotosyntézy, bukový ekosystém*

## **ÚVOD**

Zvýšení antropogenní činnosti s sebou přináší také zvýšení rizika znečištění životního prostředí. Zvýšení znečištění životního prostředí vede k negetaivním změnám v přirozených ekosystémech, kdy dochází ke snižování biodiversity /7/, ke snížení produkce apod. Tyto změny jsou velmi výrazné především v lesních ekosystémech /14/. V případě lesních ekosystémů dochází vlivem znečištění atmosféry ke změnám koloběhu živin a geochemických cyklů /5/. Podle /11/ dochází vlivem znečištění atmosféry k acidifikaci půdy, kdy jsou vyplavovány bazické kationty, uvolňuje se hliník a další toxické látky. Snižuje se rozklad organických látek v půdě a omezuje se růst jemných kořenů /6/. Zároveň dochází ke změnám v metabolismu rostlin, především ve fotosyntéze a následně v tvorbě sušiny /8, 15/.

Na základě literárních údajů jsme se v našich pokusech zaměřili na sledování rychlosti fotosyntézy ve vybraných lesních ekosystémech Slovenska u převažujících rostlinných druhů (buk lesní; kapraď samec; brusnice borůvka, ostrice, ostružiník maliník) v závislosti na poškození porostů imisemi.

## **MATERIÁL A METODA**

K pokusným měřením byly vybrány dvě lokality: 1. MP Žiar nad Hronom - bukový ekosystém ve vzdálenosti 1,5 km od zdroje znečištění (hliníkárna Žiar nad Hronom) v severním okraji Štiavnických vrchů (stresovaná varianta), Ekologický experimentální

stacionář v Kremnických vrších, který je situován ve vzdálenosti 18 km od zdroje znečištění (kontrolní varianta). 2. Bukový ekosystém v ochranném pásmu NP Slovenského ráje v lokalitě Hliníky (Novomestská Hut'a), dvě varianty kontrolní a stresovaná.

Rychlost fotosyntézy ( $P_N$ ) byla měřena komerčním infračerveným analyzátozem plynů LCA-4 (ADC Scientific, Hodison, UK). Při každém měření byly po ustálení podmínek uvnitř měřicí komůrky měřené hodnoty automaticky zaznamenávány. Počet záznamů z jednoho měření byl 20. Rychlost fotosyntézy u vybraných druhů byla měřena ve čtyřech opakováních u průměrných rostlin za přirozených světelných a teplotních podmínek.

**Rychlost fotosyntézy ( $P_N$ ) [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]**

$$P_N = u_s \cdot \Delta c$$

- kde  $\Delta c$  je rozdíl v  $\text{CO}_2$  koncentrací na vstupu a výstupu do komory [ $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ],

- kde  $u_s$  je množství – průtok vzduchu na  $\text{m}^2$  listové plochy [ $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ].

Naměřené údaje byly statisticky vyhodnoceny analýzou rozptylu pomocí statistického programu Statistika 9.0.

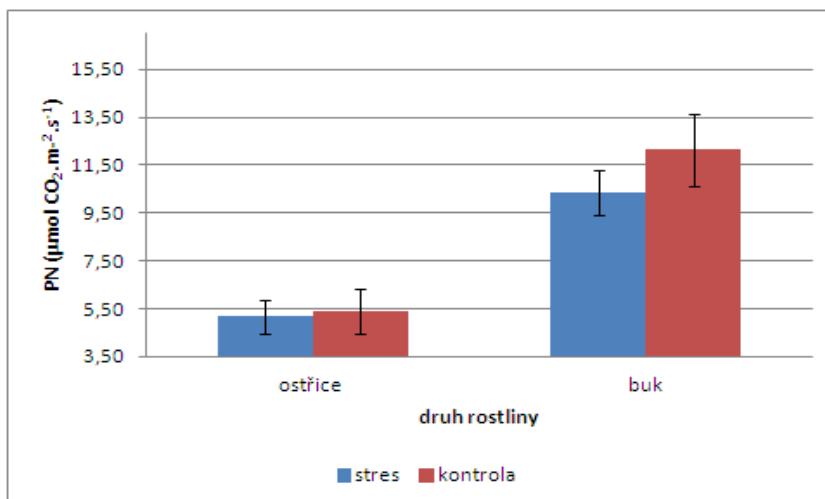
## VÝSLEDKY A DISKUSE

V prvé lokalitě (MP Žiar nad Hronom – stres) a Ekologický experimentální stacionář v Kremnických vrších (kontrola) byla měřena rychlost fotosyntézy u buku a ostřice v závislosti na vzdálenosti od zdroje znečištění prostředí.

Naměřené hodnoty rychlosti fotosyntézy vybraných rostlinných druhů jsou zaznamenány v grafu 1. Nižší rychlost fotosyntézy byla naměřena u ostřice ( $5,24 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a vyšší u buku lesního ( $10,84 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi sledovanými druhy rostlin byly zaznamenány také v pracích /4, 10/.

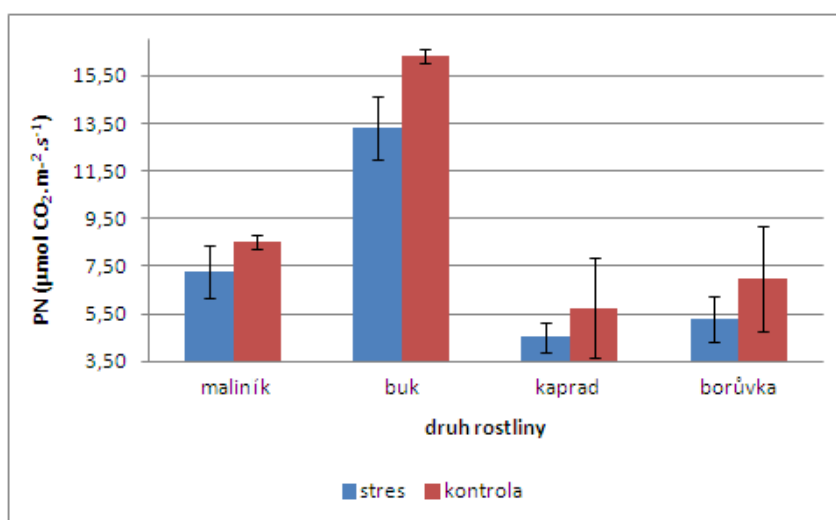
U obou sledovaných druhů je zaznamenán pokles rychlosti fotosyntézy na lokalitě Žiar nad Hronom, tedy na lokalitě s výrazným antropogenním poškozením, v porovnání s lokalitou nepoškozenou. Průměrná rychlost fotosyntézy stresovaných rostlin obou rostlinných druhů byla  $7,98 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , kdežto u rostlin kontrolních  $8,61 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Z grafu 1 dále vyplývá rozdílná reakce sledovaných rostlinných druhů na působící antropogenní poškození, neboť na stres méně citlivě reagovala ostřice v porovnání s bukem. Podle výsledků /16/ patří buk k citlivým dřevinám na znečištění ovzduší. V porovnání s bylinami jsme obdobný trend zjistili na základě měření rychlosti výměny plynů. Rozdíl v rychlosti fotosyntézy mezi variantou stresovanou a kontrolní u rostlin ostřice byl  $0,21 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Ze statistického hodnocení vyplývá, že mezi těmito dvěma variantami je statisticky neprůkazný. Oproti tomu u buku lesního byl zjištěn průkazný rozdíl mezi rychlostí fotosyntézy kontrolních a stresovaných rostlin, kdy vyšší rychlost fotosyntézy byla zaznamenána u rostlin kontrolních v porovnání s rostlinami stresovanými ( $10,34 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Rozdíl mezi oběma stanovišti činil  $1,79 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , ve prospěch kontrolních, nepoškozených dřevin, jak dokumentuje graf 1. Snížení rychlosti fotosyntézy v závislosti na působení znečišťujících látek v atmosféře ve své práci uvádí také např. /3, 13/.



Graf 1: Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) vybraných rostlinných druhů na lokalitě Štiavnické vrchy

Na lokalitě Hliníky v ochranném pásmu NP Slovenský ráj byla na dvou lokalitách (kontrola a stres) měřena rychlost fotosyntézy u buku, kapradiny, borůvky a maliníku.



Graf 2: Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) vybraných rostlinných druhů na lokalitě Hliníky

Ze získaných výsledků, které jsou uvedeny v grafu 2, je patrné, že rychlost fotosyntézy je ovlivněna nejenom botanickým druhem, ale také lokalitou. Ze sledovaných rostlinných druhů vykazují rostliny kapradě samce nejnižší rychlost fotosyntézy ( $5,00 \mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) a naopak nejvyšší fotosyntéza byla zaznamenána u buku lesního ( $15,07 \mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Mezi všemi sledovanými rostlinnými druhy byly nalezeny průkazné difference. Je možné konstatovat, že byliny vykazují nižší fotosyntézu v porovnání s dřevinami. Mezidruhové rozdíly v rychlosti fotosyntézy a nárůstu biomasy u rostlin rašelinných ekosystémů uvádí /9/ a boreálních lesů potvrzují práce /2, 10/.

U všech sledovaných rostlinných druhů bylo zaznamenáno snížení rychlosti fotosyntézy u rostlin vyrůstajících na plochách antropogenně poškozených v porovnání s rostlinami z kontrolních ploch. Snížení rychlosti fotosyntézy mezi lesními ekosystémy ovlivněnými

antropogenním znečištěním a z lokalit imisně nepoškozených uvádí /1/. V obdobné výsledky uvádí např. pro rostliny lociky seté také /12/. Rychlost fotosyntézy poškozených rostlin byla v intervalu od 4,51  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (kaprad' samec) do 13,29  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (buk lesní) a v případě kontrolních rostlin byla fotosyntéza nejnižší u kapradě samce (5,74  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a naopak nejvyšší u rostlin buku lesního (16,31  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Nejvýraznější rozdíly v rychlosti fotosyntézy mezi kontrolními a poškozenými rostlinami vykazoval buk lesní. U této rostliny činil rozdíl mezi oběma variantami 3,01  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Naopak, jako tolerantní vůči antropogennímu poškození se jeví kaprad' samec, neboť rozdíl v rychlosti fotosyntézy mezi variantami byl 1,23  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , viz graf. 2.

## LITERATURA

- /1/ Ammann, M., Siegwolf, R., Pichlmayer, F., Suter, M., Sauerer, M., Brunold, C.: Estimating the uptake of traffic-derived NO<sub>2</sub> from <sup>15</sup>N abundance in Norway spruce needles. *Oecologia*, 118, 2, 1999: 124–131.
- /2/ Carew, J. G., Mahmood, K., Darby, J., Hadley, P., and Battey, N. H.: The effect of temperature, photosynthetic photon flux density, and photoperiod on the vegetative growth and flowering of 'Autumn Bliss' raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 3, 2003: 291–296.
- /3/ Dyckmans, J., Flessa, H., Shangguan, Z., Beese, F.: A Dual <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N Long Term Labelling Technique to Investigate Uptake and Translocation of C and N in Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 36, 1, 2000: 63–78
- /4/ Erley, G. S. A., Rademacher, I., and Kuhbauch, W.: Leaf life span of a fast- and a slow-growing grass as dependent on nitrogen supply, *Journal of applied botany*, 76, 1-2, 2002: 8–12.
- /5/ Galloway, J. N.: Acid deposition: Perspectives in time and space. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85, 1, 1995: 15–24.
- /6/ Godbold, D. L., Fritz, H.-W., Jentschke, G., Meessenburg, H., Rademacher, P.: Root turnover and root necromass accumulation of Norway spruce (*Picea abies*) are affected by soil acidity. *Tree Physiology*, 23, 13, 2003: 915–921.
- /7/ Jamnická, G., Bučinová, K., Havranová, I., Urban, A.: Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Žiar nad Hronom, Central Slovakia. *Forest Ecology and Management*, 248, 1-2, 2007: 26–35.
- /8/ Jurgensen, M. F., Leaf, A. L.: Soil Moisture - Fertility Interactions Related to Growth and Nutrient Uptake of Red Pine. *Soil Science Society of America Journal*, 29, 3, 1965: 294–299.
- /9/ Kool, A., Heijmans, M. M. P. D.: Dwarf shrubs are stronger competitors than graminoid species at high nutrient supply in peat bogs. *Plant Ecology*, 204, 2009: 125–134.
- /10/ Kulmala, L., Pumpanen, J., Vesela, T., Hari, P.: Photosynthesis of boreal ground vegetation after a forest clear-cut. *Biogeosciences*, 6, 2009: 2495–2507.
- /11/ Matzner, E., Murach, D.: Soil changes induced by air pollutant deposition and their implication for forests in central Europe. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85, 1, 1995: 63–76.
- /12/ Pavlík, M., Pavlíková, D., Zemanová, V., Hnilička, F., Urbanová, V., Száková, J.: Trace elements present in airborne particulate matter-Stressors of plant metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 79, 2012: 101–107.
- /13/ Santantonio, D., Hermann, R. K.: Standing crop, production, and turnover of fine roots on dry, moderate, and wet sites of mature Douglas-fir in western Oregon. *Annals of Forest Science*, 42, 2, 1985: 113–142.
- /14/ Shparyk, Y. S., Parpan, V. I.: Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, 130, 1, 2004: 55–63.
- /15/ Wittwer, R. F., Leaf, A. L., Bickelhaupt, D. H.: Biomass and chemical composition of fertilized and/or irrigated *Pinus resinosa* Ait. plantations. *Plant and Soil*, 42, 3, 1975: 629–651.
- /16/ Woo, S. Y.: Forest decline of the world: A linkage with air pollution and global warming. *African Journal of Biotechnology*, 8, 25, 2009: 7409–7414.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory Vědecké grantové agentury MŠ SR a SAV (2/0027/13), APVV (č. SK-CZ-0213-11) a MŠMT ČR č. projektu 7AMB12SK017.

## **VLIV Cd STRESU NA OBSAH Ca, Mn, Zn, Fe A Cu VE VYBRANÝCH ORGÁNECH JEČMENE (*HORDEUM SATIVUM L.*)**

### ***INFLUENCE OF Cd STRESS ON LEVELS OF Ca, Mn, Fe AND Cu IN SELECTED BARLEY (*HORDEUM SATIVUM L.*) ORGANS***

Zora Kotíková, Brigita Zámečníková, Daniela Miholová, Hana Vodičková, Jiřina Száková,  
Jaromír Lachman

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra chemie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 –  
Suchbát, lachman@af.czu.cz

#### ***Summary***

Spring barley plants cv. Sebastian were grown in phytotron hydroponically in two variants - the control and experimental variant that during the growth of plants was treated with a solution of cadmium chloride at a concentration of  $10^{-5}$  mol l<sup>-1</sup>. Cultivated barley plants were divided into roots and above-ground part. Above-ground part was further separated into stems, the first (oldest), the second and the third (youngest) leaf and caryopsis. Lyophilized samples were analyzed for the content and distribution of Cd, Cu, Zn, Fe, Mn and Ca in plants by ETA-AAS, F-AAS and ICP-OES. Cd significantly decreased Ca and Mn levels, while the effect on Zn and Fe in individual organs was different. On the contrary, Cd stress caused significant Cu increase in roots, basis of leaves, stems and caryopses, and a decrease in the first and second leaves.

*Key words: barley plants, Hordeum sativum L., Cd stress, Ca, Mn, Zn, Fe and Cu levels, concentration in barley organs*

#### ***Souhrn***

Rostliny ječmene jarního cv. Sebastian byly pěstovány ve fytotronu hydroponicky ve dvou variantách - kontrolní a experimentální, v průběhu růstu byl k rostlinám přidán roztok chloridu kadmiového o koncentraci  $10^{-5}$  mol l<sup>-1</sup>. Pěstované rostliny ječmene byly rozděleny na kořeny a nadzemní část, která byla dále rozdělena na stonky, první (nejstarší), druhé a třetí (nejmladší) listy a obilky. Lyofilizované vzorky byly analyzovány na obsah a distribuci Cd, Cu, Zn, Fe, Mn a Ca v rostlinách metodami ETA-AAS, F-AAS a ICP-OES. Cd významně snížilo obsah Ca a Mn, zatímco vliv Cd na Zn a Fe se v jednotlivých orgánech lišil. Naopak, Cd stres způsobil značný nárůst Cu v kořenech, bázích listů, stoncích a obilkách, a pokles v prvních a druhých listech.

*Klíčová slova: ječmen, Hordeum sativum L., stres kadmíem, obsah Ca, Mn, Zn, Fe a Cu, koncentrace v orgánech ječmene*

## **ÚVOD**

Kadmium (Cd) je neesenciální prvek, který patří k nejtoxičtějším těžkým kovům, způsobujícím závažné fyziologické poruchy spojené s oxidativním stresem – poškození kořenové špičky, snížení fotosyntézy, inhibici růstu a antioxidační odpověď ve všech rostlinných orgánech [1, 2]. Jeho nebezpečnost je dána dlouhým biologickým poločasem (15-30 roků). Kadmium může interferovat s řadou metabolických procesů, snižuje příjem vody a

nutrientů, způsobuje chlorózu a nekrózu listů, snižuje účinnost elektronového transportu, biosyntézu chlorofylu, indukuje nadprodukcii reaktivních forem kyslíku a lipidovou peroxidaci v listech a kořenech rostlin /1, 3/. Cílem této studie bylo stanovit, jak stres vyvolaný kadmii ovlivní hladiny esenciálních prvků – Ca, Mn, Zn, Fe a Cu v jednotlivých orgánech ječmene, kde některé z nich (bivalentní) mohou mít ochrannou roli proti oxidativnímu stresu způsobeného kadmii a mohou snižovat příjem a akumulaci kadmia kořenovým systémem.

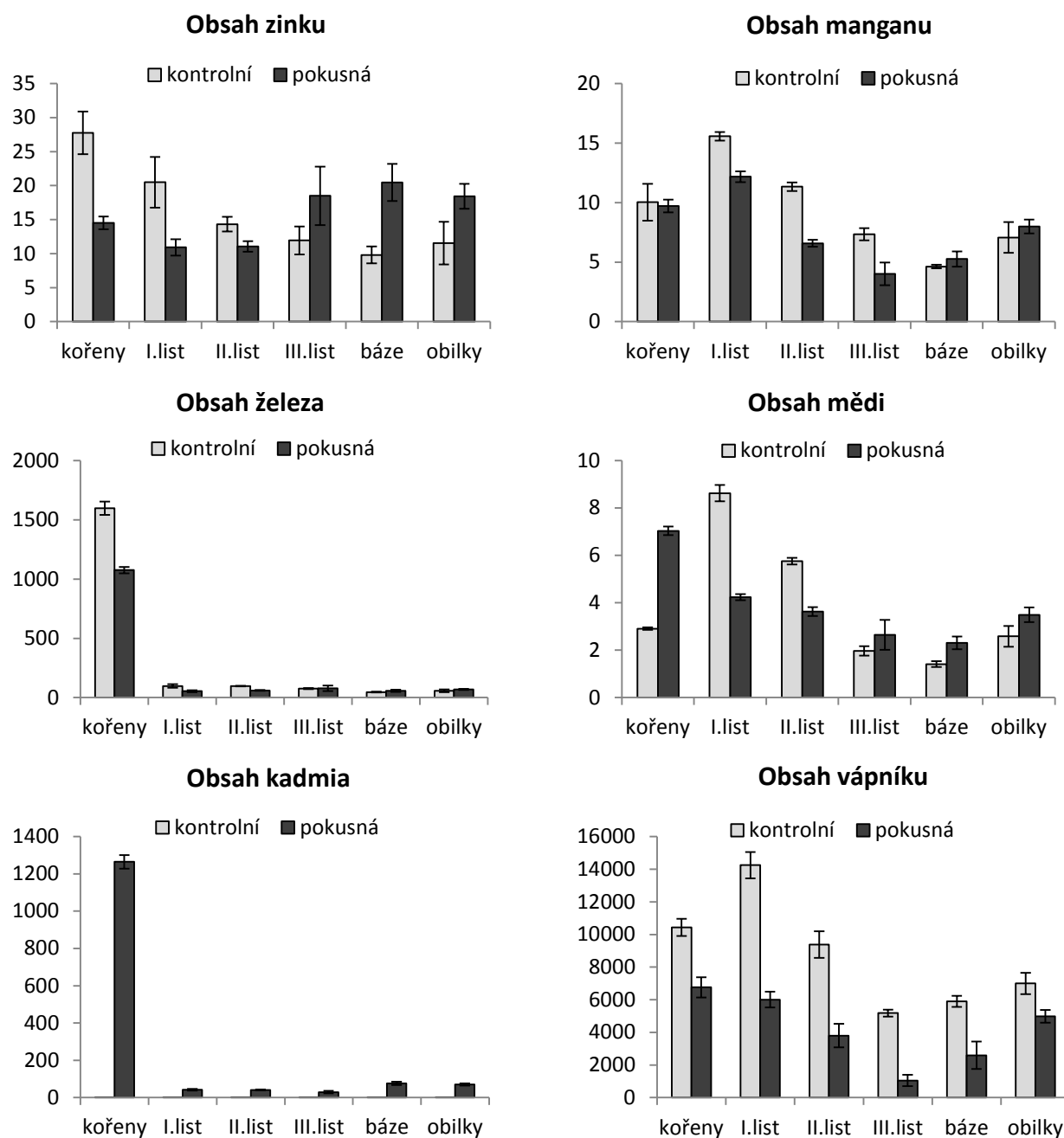
## MATERIÁL A METODA

Pokus byl koncipován jako nádobový, rostliny byly pěstovány v nádobách o objemu 550 ml. Rostlinný materiál byl připravován v kultivační místnosti VURV Ruzyně – Fytotronu. Do pokusu byla použita odrůda jarního ječmene Sebastian. Rostliny byly pěstovány v klimatizované místnosti s umělým osvětlením. Kořeny rostlin byly ponořeny v modifikovaném Knopově živném roztoku. Jako zdroj světla byly použity sodíkové výbojky, žárovky a úsporné zářivky. Byly nastaveny časy doby osvětlení a tmy 14/10 a teploty 22/16 °C. Ozářenost při kultivaci činila v průměru 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Vlhkost vzduchu byla upravena pomocí zařízení *mist maker* a větráku, který zabezpečoval stejné vlhkostní podmínky v celé kultivační místnosti. 7. den byl pokusným rostlinám do živného roztoku přidán roztok  $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  v koncentraci  $10^{-5} \text{ mol l}^{-1}$ . Všem rostlinám byl doplňován základní živný roztok v množství 100 ml na nádobu, nádoby byly doplňovány destilovanou vodou, byly provzdušňovány a přemísťovány pod osvětlením. Vypěstované rostliny ječmene byly rozděleny na kořeny a nadzemní část. Nadzemní část byla dále rozdělena na stonek, první, druhý a třetí list a obilky. Po zhruba tří denní lyofilizaci byly vzorky rozemlety v analytickém mlýnku IKA A11 basic. Do teflonových váženek bylo naváženo asi 0,15 g vzorku s přesností 0,0001 g. Ke vzorkům byly přidány 2 ml koncentrované kyseliny dusičné (67%) a poté 3 ml peroxidu vodíku (36%). Nádobky byly protřepány a ponechány na 2 až 3 hodiny stát. Po odstání byly teflonové nádobky uzavřeny a vloženy do mineralizačního zařízení MWS-3<sup>+</sup> speed wave (Berghof), kde proběhl tlakový rozklad vzorků. Obsah nádobek byl pomocí ultračisté vody kvantitativně převeden do 50ml kádinek. Kádinky se vzorky byly umístěny na elektrickou topnou desku, kde byly při 120 °C odpařeny téměř do sucha. Po odpaření byly mineralizáty znovu rozpuštěny v 1,5% kyselině dusičné, poté byly převedeny do 10 ml kalibrovaných zkumavek a pomocí stříčky s 1,5% kyselinou dusičnou byly doplněny po rysku. Zároveň se vzorky byl proveden slepý pokus se všemi činidly a stejným postupem, ale bez navážky vzorku. Takto připravené vzorky byly analyzovány na obsah Cd, Cu, Zn, Fe, Mn a Ca. Pro stanovení Cd bylo použito elektrotermické atomizace (ETA-AAS) a pro stanovení Ca byly vzorky atomizovány v plameni (F-AAS). Stanovení ostatních prvků (Cu, Zn, Fe, Mn) bylo provedeno metodou ICP-OES.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Analýza sledovaných prvků byla provedena ve třech paralelních opakováních. Statistické zhodnocení naměřených dat bylo zpracováno v programu STATISTICA metodou ANOVA dvojného třídění ( $\alpha=0,05$ ; Tukeyův test).





Obr. 1: Změny v obsahu sledovaných prvků v kontrolní a pokusné variantě (mg kg<sup>-1</sup> sušiny)

Cd vykázalo největší vliv na obsah Ca (Obr. 1), významný pokles vápníku byl pozorován ve všech orgánech pokusných variant. Při srovnání s kontrolní variantou, vyšší pokles byl charakteristický pro listy a základy listů – pro první list o 57,9 % (z 14250 na 6000 mg kg<sup>-1</sup> suš.), pro druhý list o 59,5 % (z 9380 na 3800 mg kg<sup>-1</sup> suš.), pro třetí list o 79,8 % (z 5180 na 1050 mg kg<sup>-1</sup> suš.) a pro bázi listů o 55,9 % (z 5900 na 2600 mg kg<sup>-1</sup> suš.); obecně v nadzemní biomase o 67,6 % (z 6360 na 2060 mg kg<sup>-1</sup> suš.). Ca byl nejvíce akumulován v nejstarších listech rostlin. Ca sdílí mnoho fyzikálních podobností s Cd, má podobný náboj a iontový

poloměr. Vzájemný antagonismus mezi těmito prvky byl publikován mnoha autory /1, 2, 6/. V obsahu Mn a Cu byl pozorován podobný trend jako v obsahu Ca, významně nejvyšší obsah byl naměřen v nejstarších listech a v kořenech rostlin. Cd stres způsobil výrazný pokles obsahu Mn, s výjimkou báze listů a obilek. Vysoký pokles Mn byl zjištěn v listech – v prvním pokles o 21,8 % (z 15,6 na 12,2 mg kg<sup>-1</sup> suš.), ve druhém o 41,7 % (z 11,3 na 6,59 mg kg<sup>-1</sup> suš.) a o 45,4 % (z 7,35 na 4,01 mg kg<sup>-1</sup> suš.) ve třetím listu. Aplikace Cd způsobila navýšení obsahu Cu, významný nárůst byl zjištěn v kořenech - o 141 % (z 2,91 na 7,03 mg kg<sup>-1</sup> suš.), bázích listů o 63,8 % (z 1,41 na 2,31 mg kg<sup>-1</sup> suš.) a obilkách o 34,7 % (z 2,59 na 3,49 mg kg<sup>-1</sup> suš.). V prvních a druhých listech došlo k poklesu obsahu Cu. Vliv Cd na obsah Zn měl za následek snížení jeho obsahu v kořenech, prvních a druhých listech, zatímco v třetích listech, bázích a obilkách došlo k významnému nárůstu tohoto prvku. Antagonistický vztah mezi příjmem Cd a Zn sledovali také autoři /4/. Ve studii autorů /5/ vedla interakce Cd a Zn k poklesu příjmu Zn a nárůstu obsahu Cd v pokusech prováděných na rostlinách rýže. Silnou interakci mezi Cd a Zn sledovali také autoři /3/, v kontrastu s výše zmíněnými autory zjistili, že Zn je rostlinami přijímán přednostně a do jisté míry tak může rostliny chránit před toxickými účinky Cd. Ve vyšších koncentracích již sám působí na rostliny toxicky, dokonce se může spolu s Cd podílet na oxidačním stresu rostlin. Nejvyšší obsah železa byl naměřen v kořenech rostlin. Stres vyvolaný Cd měl za následek významné snížení železa právě v tomto orgánu – pokles o 32,5 % (z 1600 na 1080 mg kg<sup>-1</sup> suš.). K významným poklesům došlo také v prvních a druhých listech rostlin (44,3 % a 38,3 %). Negativní vliv Cd na příjem Fe je podle autorů /7/ způsoben inhibicí Fe<sup>3+</sup> reduktázy, což vede k nedostatku přijatelné formy Fe<sup>2+</sup> a tím také ke snížení účinnosti fotosyntézy.

## LITERATURA

- /1/ Zhang, L., Chen, Z., Zhu, Ch.: Endogenous nitric oxide mediates alleviation of cadmium toxicity induced by calcium in rice seedlings. *Journal of Environmental Sciences*, 24, 2012: 940-948.
- /2/ Tian, S., Lu, L., Zhang, J., Wang, K., Brown, P., He, Z., Liang, J., Yang, X.: Calcium protects roots of *Sedum alfredii* H. against cadmium-induced oxidative stress. *Chemosphere*, 84, 2011: 63-69.
- /3/ Cherif, J., Mediouni, Ch., Ammar, W. B., Jemal, F.: Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants. *Journal of Environmental Sciences*, 23, 2011: 837-844.
- /4/ Yang, Y., Nan, Z., Zhao, Z., Wang, S., Wang, Z., Wang, X.: Chemical fractionations and bioavailability of cadmium and zinc to cole (*Brassica campestris* L.) grown in the multi-metals contaminated oasis soil, northwest of China. *Journal of Environmental Sciences*, 23, 2011: 275-281.
- /5/ Zhou, Q. X., Wu, Y. Y., Xiong, X. Z.: Compound pollution of Cd and Zn and its ecological effect on rice plant. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 5, 1994: 438-441.
- /6/ White, P. J.: Calcium channels in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta-Biomembranes*, 1465, 2000: 171-189.
- /7/ Alcantara, E., Romera, F. J., Canete, M., De La Guardia, M D.: Effect of heavy metals on both induction and function of root Fe (III) reduktase in Fe – deficient cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Experimental botany*, 45, 1994: 1893-1898.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného projektu GACR GAP208-12-1645.

## **STRUKTURNÍ ROZDÍLY V ODLIŠNÉ RŮSTOVÉ STRATEGII KLONŮ SMRKU ZTEPILÉHO**

### ***STRUCTURAL DIFFERENCES IN VARIOUS GROWTH STRATEGIES OF CLONES OF NORWAY SPRUCE***

Václav Krpeš, Karel Michna

Ostravská univerzita v Ostravě, přírodovědecká fakulta, katedra biologie a ekologie, Chittussiho 10,  
710 00 Slezská Ostrava, krpes@osu.cz, michna@osu.cz

#### ***Summary***

The paper deals with the structural analysis of the functional parts of Norway spruce needles *Picea abies*. There is a resistant population in 3 variations on the locality Vítkovice in the Giant Mountains (685 m asl). It provides anatomical differences occurring in the individual variations with different growth strategies.

*Key words: Norway Spruce, Picea Abies, light microscopy, needles, xylem, anatomy of needles*

#### ***Souhrn***

Práce se zabývá strukturní analýzou funkčních částí jehlic smrku ztepilého *Picea abies*. Jedná se o rezistentní populaci ve 3 variantách na lokalitě Vítkovice v Krkonoších (685 m n. m.). Stanovuje anatomické rozdíly vyskytující se v jednotlivých variantách s různou strategií růstu.

*Klíčová slova: smrk ztepilý, Picea abies, světelná mikroskopie, jehlice, xylem, anatomie jehlic*

## **ÚVOD**

Cílem výzkumu bylo provést vyšetření rostlinných pletiv jednoletých jehlic smrku ztepilého roztríděných podle výšky v nadzemní části do tří variant - „malé“, „střední“ a „velké“ - a zjistit, jaké jsou anatomické odlišnosti v jejich růstové strategii. Zájem byl soustředěn hlavně na jedince, kteří se v počátečních fázích vývoje vyznačují poměrně pomalým růstem, avšak mají přednost v tom, že v další fázi vývoje bývají odolnější vůči stresům a méně příznivým podmínkám a tvoří stabilní kostru lesních porostů. Pro posouzení kvalitativních odlišností fyziologických procesů, probíhajících uvnitř rostlinných pletiv, byla pozornost zaměřena na určení obsahu plošných velikostí základních strukturálních komponent, které nám podávají informaci o růstové aktivitě zkoumaných jedinců.

## **MATERIÁL A METODA**

Výzkumný materiál byl odebrán dne 9. 5. 2012 z lesní školky Vítkovice v Krkonoších (685 m n. m.). Jednalo se o 90 letorostů dvouletých klonů smrku ztepilého krkonošského původu z 8. lesního vegetačního stupně.

Z každého jedince byly odebrány k analýze 4 reprezentativní jednoleté jehlice. Z jejich střední části byl vyříznut blok standardní délky, který se dále zpracovával podle metody

trvalých preparátů botanické mikroskopické techniky– odvodnění ethanolovou řadou, projasnění xylémem a prosycení parafinem na přístroji Shandon Citadel TM – karuselový typ.

Uzavřené nabarvené preparáty byly zabudovány do enthellanu (MERCK) a vloženy k zviditelnění obrazu do mikroskopu ZEISS Axiostar Plus propojeného kamerou Olympus C5060 WZ a multimediálním PC. Pro analýzu obrazu a statistiku byl využit program Quick Photo Camera 2.3. Příčné řezy byly fotografovány pod zvětšením 100 krát a 400 krát. Fotografie bylo nutné upravit podle programu Adobe Photoshop CS 5.1. Měření sledovaných komponent obarvených obsahů ploch se uskutečnilo aplikací freeware programu CERNOTA /1/, který bylo nutné kalibrovat /3/.

Podle funkce pletiv v jehlicích byla zaměřena pozornost hlavně na posouzení obsahu ploch asimilačního aparátu palisádového parenchymu. Jednalo se o transportní pletiva zajišťující transpirační tok cévami xylému a tok asimilátu floémem, dále pak sklerenchymatické fibrózní buňky určující ohebnost jehlic /2/ a albuminózní buňky. K vyhodnocení získaných dat byl použit program R. Pro zamítnutí nulové hypotézy o shodě středních hodnot byla použita TUKEYOVA metoda mnohonásobného porovnávání.

V rámci hodnocení strukturních změn bylo sledováno:

1. Celková plocha příčného řezu středu jehlic při zvětšení 100krát
2. Celková plocha cévního svazku při zvětšení 100krát
3. Poměr ploch cévního svazku k příčnému řezu středu jehlice
4. Plocha cévního svazku při zvětšení 400krát
5. Plocha xylému při zvětšení 400krát
6. Poměr plochy xylému k ploše cévního svazku
7. Poměr plochy floému k cévnímu svazku
8. Plocha floému při zvětšení 400krát
9. Plocha albuminových buněk při zvětšení 400krát

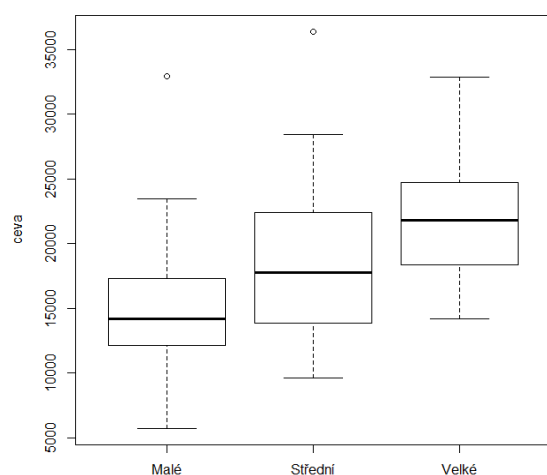
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Na obr. 1-4, tab. 1-4 jsou uvedeny příklady výsledků statistického vyhodnocení strukturálních analýz některých komponent rostlinných pletiv příčných řezů jehlic. Podle očekávání byly zjištěny nejvyšší hodnoty velikosti celkové plochy na příčném řezu jehlice u varianty „velké“, následují varianty „střední“ a „malé“. Stejně tak je tomu ve velikostech ploch cévního svazku (obr. 1, tab. 1).

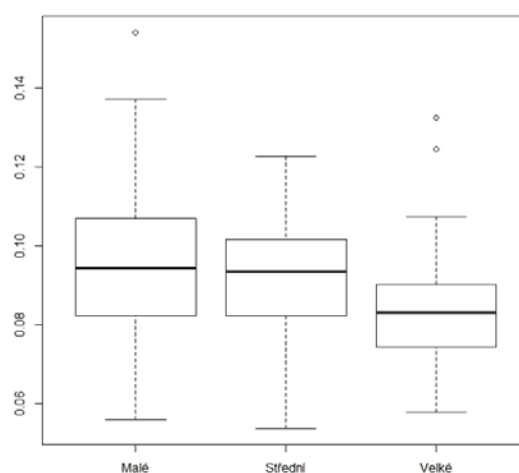
Nejpříznivější podmínky poměru ploch cévního svazku a příčného řezu jehlice jsou u variant „malé“ a „střední“ (rozdíl bez statistické významnosti). U varianty „velké“ je významný statistický rozdíl ve srovnání s variantami „malé“ a „střední“. Možno vyslovit názor, že v dalším vývoji růstu „velké“ varianty bude nepříznivě ovlivněno odvádění asimilátů z jehlic. (obr. 2, tab. 2).

Varianta „střední“ vykazuje nejvyšší plochu xylému vůči ostatním variantám, mezi kterými není signifikantní rozdíl (obr. 3, tab. 3).

V poměru xylému k cévnímu svazku pozorujeme nižší hodnoty u varianty „velké“. Vzhledem k významnosti xylémového transportu důležitých mikro a makroelementů k výživě u této varianty, lze usuzovat na omezený průtok v důsledku snížení světlosti cév. Je zde významný statistický rozdíl s variantami „malé“ a „střední“ (obr. 4, tab. 4).



Obr. 1 Znáznornění ploch příčných řezů cévního svazku jehlicemi v  $\mu\text{m}^2$  ve skupinách „malé“, „střední“ a „velké“ v boxech s vyznačením statistických bodů (extrémní hodnoty max. a min., kvantily, medián).



Obr. 2 Znáznornění poměru cévního svazku k ploše anatomického řezu středem jehlice podle skupin „malé“, „střední“ a „velké“ v boxech s vyznačením statistických bodů (extrémní hodnoty max. a min., kvantily, medián).

Tab. 1 Analýza rozptylu jednoduchého třídění ploch cévního svazku příčných anatomických řezů v  $\mu\text{m}^2$  podle skupin „malé“, „střední“ a „velké“. Testováno TUKEYOVOU metodou mnohonásobného porovnávání.

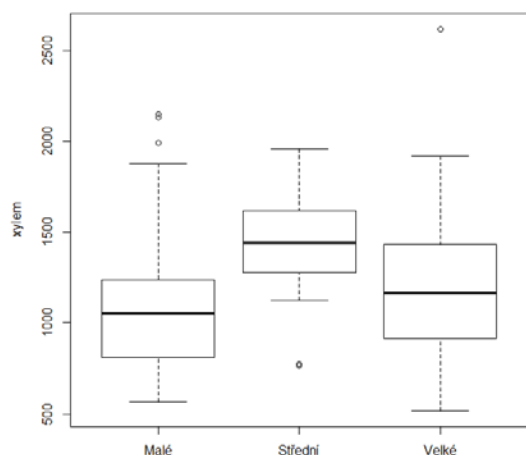
|                 | p adj     |
|-----------------|-----------|
| Střední - Malé  | 0.0126787 |
| Velké - Malé    | 0.0000001 |
| Velké - Střední | 0.0055725 |

Tab. 2 Analýza rozptylu jednoduchého třídění poměru cévního svazku k ploše anatomického řezu středem jehlice podle skupin „malé“, „střední“ a „velké“. Testováno TUKEYOVOU metodou mnohonásobného porovnávání.

|                 | p adj     |
|-----------------|-----------|
| Střední - Malé  | 0.7716740 |
| Velké - Malé    | 0.0253546 |
| Velké - Střední | 0.1257408 |

Při srovnání s předchozími výsledky /3/ na podobném biologickém materiálu, lze potvrdit naši domněnku, že varianta střední a malé mají dobré předpoklady pro růst. Varianta velké vykazuje ve všech uskutečněných měřeních nejmenší poměrné zastoupení xylému, floému a cévního svazku vůči ploše příčného řezu jehlicí.

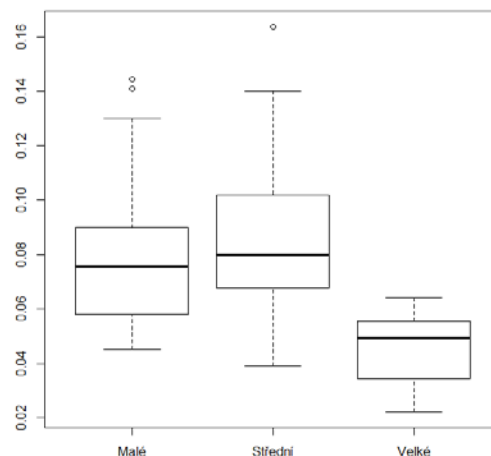
Další růst jedinců závisí na následné strukturní výstavbě celého asimilačního aparátu. Rezistence je podmíněna výstavbou krycích ochranných pletiv jehlic. Zvýšená rezistence jedinců zkoumaných smrků u varianty „malé“ a „střední“ je zřejmě způsobena neporušenou stavbou xeromorfních pletiv jehlic a příznivějším zásobováním anorganickými látkami. Pomaleji rostoucí jedinci vykazují nižší biometrické hodnoty vodivých pletiv (xylém, floém, albuminózní buňky v cévním svazku). V relaci k mezofylovým pletivům však vykazují vyšší hodnoty. Jejich růstovou strategií bude výstavba primárních ochranných pletiv (epidermis, hypodermis a subhypodermis) s dokonalou kutinizací povrchu a mechanických fibrózních buněk ve středu jehlice. V extrémní vegetační řadě 8. LVS mají jedinci s pomalejším růstem lepší předpoklady vyrovnat se s nepříznivými podmínkami prostředí než jedinci s rychlejší strategií růstu. Doporučujeme jejich rozptýlenou výsadbu na obnovovaných plochách, kde mohou upevnit stabilitu uměle zakládaných porostů.



Obr. 3 Znárodnění ploch cév xylému příčných řezů cévního svazku jehlicemi v  $\mu\text{m}^2$  ve skupinách „malé“, „střední“ a „velké“ v boxech s vyznačením statistických bodů (extrémní hodnoty max. a min., kvantily, medián).

Tab. 3 Analýza rozptylu jednoduchého třídění ploch cév xylému cévního svazku příčných anatomických řezů v  $\mu\text{m}^2$  podle skupin „malé“, „střední“ a „velké“. Testováno TUKEYOVOU metodou mnohonásobného porovnávání.

|                 | p adj     |
|-----------------|-----------|
| Střední - Malé  | 0.0005556 |
| Velké - Malé    | 0.4964452 |
| Velké - Střední | 0.0230843 |



Obr. 4 Znárodnění poměru cév xylému k ploše cévního svazku v anatomickém řezu středem jehlice podle skupin „malé“, „střední“ a „velké“ v boxech s vyznačením statistických bodů (extrémní hodnoty max. a min., kvantily, medián).

Tab. 4 Analýza rozptylu jednoduchého třídění poměru cév xylému cévního svazku k ploše anatomického řezu středem jehlice podle skupin „malé“, „střední“ a „velké“. Testováno TUKEYOVOU metodou mnohonásobného porovnávání.

|                 | p adj     |
|-----------------|-----------|
| Střední - Malé  | 0.3061844 |
| Velké - Malé    | 0.0000001 |
| Velké - Střední | 0.0000000 |

## LITERATURA

- /1/ Kalina, J., Slovák, V.: The inexpensive tool for the determination of projected leaf area. In: 10 Years of Global Change Research in the Czech Republic, Ostravice, The Czech Republic, October 2002: 22-25
- /2/ Sutinen, S., Vuorinen, M., Rikala, R.: Developmental disorders in buds and needles of mature Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst., in relation to needle boron concentrations. *Trees - Structure and Function*, Volume 20, Number 5, 2006: 559-570, DOI: 10.1007/s00468-006-0071-5
- /3/ Krpeš, V., Michna, K.: Fyziologické předpoklady růstu pokusné populace smrku ztepilého na lokalitě Pláň v Krkonoších. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2012. ČZU Praha 2012. ISBN 978-80-213-2247-9.

## Poděkování

Tato práce byla podpořena agenturou NAZV Praha, výzkumným projektem č. QI112A170.

## **PRODUKCIA A KVALITA KOŠAROVANÝCH TRÁVNÝCH PORASTOV V ZÁVISLOSTI OD DRUHOVÉHO ZLOŽENIA A PÔDNOBIOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ PÔDY**

### ***PRODUCTION AND QUALITY OF FOLDED GRASSLAND IN RELATION TO BOTANICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL***

Janka Martincová, Ľudovít Ondrášek

Centrum výskumu rastlinnej výroby – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, martincova@vutphp.sk

#### ***Summary***

A research was performed in a mountain region of central Slovakia at a range of sites (Donovaly, Hrochot', Priechod and Strelníky) during 2006 – 2009. The research aim was to study effects of folding with sheep and cattle on production, chemical, and botanical composition of grassland. The effects of stocking rate and the area load were investigated at a range of areas folded with livestock either in the past or recently. A comparison was made with the areas non-utilised by folding (the control treatment). The folding affected the botanical and chemical composition as well as the productivity of grassland. Especially in the year after the folding was applied, the content of crude protein, potassium and nitrates increased in herbage at the fresh-folded areas. When the appropriate management practices were respected at folding, an increase was found in the production of dry matter and also in the proportion of valuable forage grasses and clovers in sward. However, ruderal species expanded markedly at the areas submitted to excessive folding load.

*Key words: folding, grassland, botanical composition, chemical composition, dry matter yield*

#### ***Súhrn***

Počas rokov 2006-2009 sme sledovali vplyv košarovania ovcami a hovädzím dobytkom v podhorskej a horskej oblasti stredného Slovenska (Donovaly, Hrochot', Priechod, Strelníky) na chemické, produkčné a botanické zloženie trávneho porastu a na zmeny pôdnobiologických vlastností. Sledovali sme vplyv zaťaženia na vybraných miestach čerstvého a dávnejšieho košarovania a porovnávali s miestami bez záťaže (kontrolný variant). Košarovanie ovplyvnilo botanické a chemické zloženie trávneho porastu a jeho produkciu. Hlavne v miestach čerstvého košarovania sa zvýšil v trávnej hmote obsah dusíkatých látok, draslíka a najmä nitrátov a to hlavne v nasledovnom roku po košarovaní. Košarovanie zvýšilo produkciu sušiny a pri dodržaní jeho správnych zásad sa zvýšila pokryvnosť viacerých krmovinársky hodnotných druhov tráv a ďatelinovín, naopak pri prekošarovaní došlo k silnému zaburineniu ruderálnymi druhmi.

*Kľúčové slová: košarovanie, botanické a chemické zloženie porastu, úroda*

## **ÚVOD**

Intenzívne košarovanie vo vzťahu k ochrane životného prostredia a krajín tvorby negatívne ovplyvňuje najmä vegetáciu a jej krmovinársku kvalitu porastu. Naopak pri dobrom

obhospodarování může košarovanie zlepšiť biologické a chemické vlastnosti pôdy so súčasným zlepšením produkcie a kvality trávneho porastu. Okrem problému kontaminácie životného prostredia minerálnymi formami dusíka a draslíka (eutrofizácia), spravidla dochádza aj k negatívnemu vývoju vo floristickom zložení porastu spočívajúcom v poklese biodiverzity a v šírení sa agresívnych ruderalných druhov /4/. Pri nadmernom košarovaní porastu resp. pri neusmernenom a dlhodobom stádení zvierat na jednom mieste dochádza v závislosti od počtu zvierat a dĺžky ich pobytu na ploche k nahromadeniu exkrementov, k narušeniu mačinovej vrstvy porastu a ovplyvneniu fyzikálnych vlastností hlavne vrchných vrstiev pôdy /5/.

Cieľom nášho príspevku je zhodnotiť vplyv košarovania hospodárskymi zvieratami v praktických podmienkach poľnohospodárskych podnikov na produkčné, kvalitatívne ukazovatele a botanické zloženie košarovaných porastov v nadväznosti na pôdnomikrobiologické pomery. Tento článok nadväzuje na ďalší predložený príspevok týkajúci sa pôdnomikrobiologických ukazovateľov.

## **MATERIÁL A METÓDA**

Plochy, ktoré boli košarované mladým hovädzím dobytkom a ovcami v rôznych termínoch a s rôznym zaťažením zvieratami sa nachádzali na stanovištiach Donovaly (963 m. n. m.), lokalita Mišúty, Hrochoť (845 m n. m.), Priechod (577 m n. m.) a Strelníky, lokalita Šajbianska Bukovina (1162 m n. m.). Na každom stanovišti sme vybrali čerstvo košarované plochy, plochy dávnejšie košarované a kontrolnú plochu bez košarovania. Charakteristika stanovišť a variantov je uvedená v predloženom článku Mineralizácia dusíka v pôde pod košarovaným trávny porastom /6/. V priebehu vegetácie 2006-2009 sa v každom roku realizovali 2 kosby v termíne jún, august. Botanické zloženie bolo robené Braun-Blanquetovou metódou /1/ na ploche 5 x 5 m.

## **VÝSLEDKY A DISKUSIA**

Problematike vplyvu košarovania na úrodu sa u nás zatiaľ venovalo pomerne málo prác, väčšinou sa zisťovali účinky košarovania na pôdu a vegetáciu. V rámci Slovenska je len veľmi málo údajov týkajúcich sa problematiky samotného košarovania. Väčšinou sú k dispozícii výsledky prác zaoberajúcich sa obnovou pasienkov v národných parkoch Slovenska z hľadiska vybraných mikrobiálnych ukazovateľov kvality pôdy /3/, /7/ a revitalizáciou opustených ruderalizovaných stanovišť na košariskách. Vplyv košarovania na vegetáciu v oblasti Poľany sledovala aj /9/ a kol.

VÚTPHP Banská Bystrica začal riešiť problematiku košarovania v rokoch 2000 a 2001 a to v rámci úlohy “Trvalo udržateľná produkcia lúk pomocou striedavého košarovania“ /2/. Na stanovišti Donovaly a Hrochoť sme pokračovali sledovaní výskumu začatého v predošlom projekte 2003-2005 pod názvom „Potenciálne zdroje znečisťovania pôdy, atmosféry a povrchových vôd v lúčno-pasienkovom hospodárstve“. V nadväznosti na túto úlohu sa pokračovalo v riešení v roku 2006 pod názvom „Environmentálne aspekty košarovania na trávnom poraste v poľnohospodárskej praxi“ /5/.

Z hľadiska pôdno-biologických vlastností sa na stanovišti Donovaly a Hrochoť potvrdil reziduálny vplyv košarovania z roku 2003 na všetky sledované ukazovatele. Na stanovišti Donovaly môžeme poukázať na negatívny vplyv nadmerného košarovania, ktoré možno



udržať čo v najpriaznivejšom stave len pri splnení zásad správneho košarovania. Na mieste dlhodobého stádlenia oviec (S1) aj po 20 rokoch prevládalo nitrofilné, ruderálne spoločenstvo s dominanciou *Cirsium arvense*, *Heracleum sphondylium*, *Urtica dioica* z vyšším obsahom živín v nadzemnej biomase a v pôde (tab. 1).

Tab. 1: Produkcia sušiny a chemické zloženie nadzemnej biomasy na stanovišti Donovaly za jednotlivé roky 2006 – 2009

| Rok  | Košar. plocha | úroda                 | NO <sub>3</sub>        | N- látky              | vláknina | P    | K     | Ca    | Mg   | Na   |
|------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|------|-------|-------|------|------|
|      |               | (t.ha <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (g.kg <sup>-1</sup> ) |          |      |       |       |      |      |
| 2006 | N3            | 4,47                  | 216,62                 | 160,75                | 144,11   | 2,69 | 29,54 | 10,56 | 2,64 | 0,37 |
|      | N2            | 5,69                  | 149,98                 | 175,58                | 162,40   | 3,29 | 37,11 | 9,32  | 2,29 | 0,36 |
|      | N1            | 4,28                  | 359,08                 | 188,92                | 132,94   | 3,48 | 37,25 | 8,87  | 2,45 | 0,36 |
|      | S1            | -                     | 861,52                 | 216,45                | 89,97    | 3,74 | 41,06 | 14,71 | 3,02 | 0,51 |
| 2007 | N3            | 3,85                  | 50,82                  | 115,39                | 197,65   | 1,33 | 17,38 | 10,06 | 3,00 | 0,37 |
|      | N2            | 6,70                  | 177,05                 | 113,12                | 213,50   | 1,63 | 24,49 | 7,60  | 2,25 | 0,35 |
|      | N1            | 6,70                  | 128,98                 | 100,79                | 248,46   | 1,52 | 22,22 | 6,57  | 2,11 | 0,33 |
|      | S1            | -                     | 47,50                  | 105,82                | 260,07   | 1,68 | 24,57 | 10,47 | 2,66 | 0,38 |
| 2008 | N3            | 2,97                  | 817,88                 | 112,34                | 234,52   | 1,76 | 24,63 | 9,54  | 2,65 | 0,35 |
|      | N2            | 4,28                  | 178,53                 | 148,23                | 221,32   | 2,93 | 33,05 | 9,78  | 2,48 | 0,39 |
|      | S1            | -                     | 932,03                 | 217,37                | 138,14   | 4,63 | 42,50 | 11,98 | 3,73 | 0,40 |

Legenda: N3 kontrola- nekošarovaný porast, N2- miesto košarované okolo 17.5.2003, N1- miesto košarované okolo 5.7.2003, S1- miesto košarované v roku 1987 – staré stádlisko cca 500 oviec.

Na stanovišti Hrochoť efekt košarovania doznieval ešte aj v nasledovných rokoch. Cyklus košarovania sa tu pravidelne opakuje zhruba každých 5 rokov. Úrody sušiny boli na košarovaných porastoch preukazne vyššie v porovnaní s nekošarovaným porastom vo všetkých rokoch. V kvalite trávnej hmoty pretrvávajú zvýšený obsah živín, najmä K aj po 4 rokoch od košarovania (tab. 2). Aj obsah N-látok je vyšší na košarovaných porastoch. Košarované plochy (HN2 a HN1) sa vyznačovali zvýšenou pokryvnosťou tráv najmä *Poa pratensis*, *Poa annua*, *Dactylis glomerata* a z *d'atelinovín* *Trifolium repens*.

Tab. 2: Produkcia sušiny a chemické zloženie nadzemnej biomasy na stanovišti Hrochoť za jednotlivé roky 2006 - 2009

| Rok  | Košar. plocha | úroda                 | NO <sub>3</sub>        | N- látky              | vláknina | P    | K     | Ca   | Mg   | Na   |
|------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|------|-------|------|------|------|
|      |               | (t.ha <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (g.kg <sup>-1</sup> ) |          |      |       |      |      |      |
| 2006 | HN3           | 2,32                  | 367,84                 | 144,73                | 169,65   | 2,61 | 21,27 | 7,62 | 2,94 | 0,50 |
|      | HN2           | 5,62                  | 353,88                 | 158,68                | 185,58   | 3,07 | 26,65 | 7,56 | 3,07 | 0,51 |
|      | HN1           | 6,04                  | 1966,36                | 181,54                | 187,28   | 3,27 | 29,25 | 6,54 | 2,86 | 0,49 |
| 2007 | HN3           | 1,39                  | 41,20                  | 119,89                | 214,14   | 2,01 | 15,36 | 6,18 | 2,47 | 0,42 |
|      | HN2           | 2,81                  | 962,96                 | 191,19                | 155,18   | 2,56 | 30,65 | 8,92 | 3,22 | 0,46 |
|      | HN1           | 1,91                  | 675,93                 | 172,44                | 172,22   | 2,69 | 29,12 | 7,42 | 2,86 | 0,41 |
| 2008 | HN3           | 3,72                  | 47,94                  | 112,22                | 275,48   | 2,17 | 16,49 | 6,26 | 2,20 | 0,42 |
|      | HN2           | 5,93                  | 626,32                 | 147,22                | 200,07   | 2,92 | 27,26 | 8,27 | 2,63 | 0,46 |
|      | HN1           | 5,93                  | 233,40                 | 142,16                | 224,03   | 3,00 | 27,19 | 6,62 | 2,40 | 0,41 |
| 2009 | HN3           | 3,50                  | 0,00                   | 147,78                | 226,98   | 2,22 | 17,22 | 9,57 | 2,99 | 0,34 |
|      | HN2           | 3,85                  | 0,00                   | 127,02                | 229,35   | 1,71 | 20,60 | 7,25 | 1,91 | 0,33 |
|      | HN1           | 4,84                  | 0,00                   | 165,12                | 216,30   | 2,72 | 37,57 | 9,59 | 2,62 | 0,28 |

Legenda: HN3 kontrola- nekošarovaný porast, HN2- miesto košarované 8. 7. 2003, HN1- miesto košarované 19. 5. 2003.

V tab. 3 uvádzame celkové sumy úrod a priemerné hodnoty obsahu živín nadzemnej biomasy na stanovišti Priechod. Košarovanie zvýšilo produkciu sušiny, najvyššie úrody boli zaznamenané vo všetkých rokoch práve na var. PR5 (na čerstvo košarovanej ploche v jeseni 2006) a najnižšie boli na kontrole. V chemickom zložení nadzemnej hmoty boli zaznamenané výrazné zmeny, vplyvom košarovania vzrastal najmä obsah nitrátov, ktorý v roku košarovania (2006) vysoko prekračoval povolený obsah. Najvyššie hodnoty boli na čerstvo košarovných plochách (var.PR2 a PR4), kde hodnoty sa pohybovali v rozmedzí od 4278,17 - 3938,33 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny (tab. 3). V ďalších 2 rokoch sa obsah postupne znižoval a v poslednom roku 2009 dosahoval nulové hodnoty. V porovnaní s variantom bez záťaže bol na košarovných plochách vyšší obsah N - látok, fosforu a draslíka. Obsah K dosahoval v roku 2006 2-násobne vyššie hodnoty (až 42,85 g.kg<sup>-1</sup> sušiny) v porovnaní s kontrolou (26,44 g.kg<sup>-1</sup> sušiny). V poslednom roku (2009), 3 roky od košarovania, hodnoty poklesli na požadovaný obsah K v krmive. To znamená, že postupným obnovovaním porastu dochádzalo k odčerpávaniu živín z pôdy a k poklesu hodnôt. Pri väčšom zaťažení dochádza k výraznejším zmenám aj vo floristickom zložení. Viditeľné zmeny je možné pozorovať hlavne na čerstvo košarovných plochách, na ktorých následne dochádza k postupnému obnovovaniu porastu a teda vegetácia je značne ovplyvnená aj vyššou koncentráciou živín v pôde, najmä N, K a tým aj vyšším zastúpením ruderalných druhov. Zaznamenali sme zvýšený výskyt burinných druhov a to hlavne v mieste čerstvého košarovania, na var. PR5 (košarované, jeseň 2006), kde počas nasledovného roka 2007, rok po košarovaní, v poraste tvoril najväčšie zastúpenie pýr plazivý (*Elytrigia repens*). V roku 2009 došlo k výraznejšej zmene v prospech zlepšenia druhového zloženia, v poraste sa už začali uplatňovať krmovinársky hodnotné druhy tráv ako *Trisetum flavescens*, *Dactylis glomerata* a z ďatelinovín *Trifolium repens*.

Na stanovišti Strelníky, lokalita Šajbianska Bukovina, v nadmorskej výške až 1000 m, sme mali možnosť porovnať vplyv čerstvého košarovania ovcami a jalovicami (tab.4). Vplyvom košarovania sa dosiahli vyššie úrody ako na poraste bez zaťaženia, pričom vyššie úrody sme zaznamenali pri košarovaní ovcami a nižšie po košarovaní jalovicami. Termín košarovania, či sa jedná o košarovanie v lete alebo v jeseni, sa na úrode výrazne neprejavil. Z hľadiska kvality trávnej hmoty sme v rokoch 2007 a 2008 zaznamenali pokles obsahu živín, najmä nitrátov v porovnaní s rokom 2006, kde práve na čerstvo košarovných plochách obsah nitrátov vysoko prekračoval maximálne prípustný obsah 3100 mg.kg<sup>-1</sup>. Celkovo boli hodnoty obsahu živín prijateľné pre zvieratá, čo svedčí o tom, že porast nebol prekošarovaný. Na základe výsledkov sme k dospeli k poznatku, že košarované plochy ovcami rýchlejšie zarastajú vegetáciou ako plochy košarované jalovicami. To znamená, že ovčí trus je oveľa agresívnejší než hovädzí. Rozdiel bol aj v druhovom zložení. Kým obnovený porast košarovaný ovcami sa postupne zapájal vrastnými druhmi tráv ako *Dactylis glomerata*, *Poa trivialis*, *Festuca pratensis*, obnovený porast jalovicami bol nižší, tvorený hlavne bylinami a nízkostebelnatými trávami ako *Agrostis capillaris*, *Poa pratensis*, *Stellaria graminea*, *Taraxacum officinale*, *Alchemilla vulgaris* a z ďatelinovín najmä *Trifolium pratense* a *Trifolium repens*. Košarovanie pozitívne ovplyvnilo druhovú diverzitu, čo súvisí s dodržiavaním správnych postupov a aj tým, že niekoľko rokov sa porasty nevyužívali košarovaním ale len pasením. V prípade košarovných trávnych porastov na stanovišti Priechod sa dusík akumuloval a zotrval v pôde aj niekoľko rokov po ukončení košarovania.

Tab. 3: Produkcia sušiny a chemické zloženie nadzemnej biomasy na stanovišti Priechod za jednotlivé roky 2006 - 2009

| Rok  | Košar. plocha | úroda                 | NO <sub>3</sub>        | N- látky              | vláknina | P    | K     | Ca    | Mg    | Na   |
|------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|------|-------|-------|-------|------|
|      |               | (t.ha <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (g.kg <sup>-1</sup> ) |          |      |       |       |       |      |
| 2006 | PR1           | 5,25                  | 1249,57                | 151,29                | 205,83   | 3,27 | 26,44 | 8,89  | 2,45  | 0,61 |
|      | PR2           | 4,54                  | 4278,17                | 217,80                | 165,26   | 3,89 | 42,85 | 11,96 | 4,11  | 0,66 |
|      | PR3           | 2,64                  | 781,45                 | 182,59                | 184,09   | 3,72 | 27,23 | 8,39  | 2,81  | 0,48 |
|      | PR4           | 2,42                  | 3938,33                | 189,28                | 178,00   | 3,35 | 33,96 | 10,56 | 2,91  | 0,61 |
| 2007 | PR1           | 3,18                  | 637,82                 | 127,22                | 236,39   | 2,43 | 15,96 | 0,34  | 5,84  | 1,94 |
|      | PR2           | 2,33                  | 1356,24                | 177,35                | 175,19   | 3,00 | 23,08 | 0,35  | 7,26  | 2,57 |
|      | PR3           | -                     | 490,47                 | 192,84                | 178,99   | 3,30 | 22,36 | 0,39  | 6,81  | 2,64 |
|      | PR4           | 2,59                  | 130,32                 | 167,85                | 164,95   | 3,07 | 27,48 | 0,40  | 9,25  | 2,95 |
|      | PR5           | 6,63                  | 2187,84                | 173,85                | 194,91   | 3,63 | 28,56 | 0,36  | 7,19  | 2,43 |
|      | PR6           | 3,26                  | 111,77                 | 133,78                | 194,68   | 2,40 | 20,40 | 0,39  | 10,49 | 2,64 |
| 2008 | PR1           | 2,75                  | 36,18                  | 132,93                | 223,95   | 3,17 | 20,39 | 0,36  | 9,04  | 2,39 |
|      | PR2           | 4,24                  | 2449,84                | 224,61                | 177,42   | 4,29 | 31,62 | 0,45  | 10,43 | 2,69 |
|      | PR3           | 4,60                  | 358,67                 | 189,57                | 179,38   | 4,48 | 26,84 | 0,44  | 9,08  | 2,93 |
|      | PR4           | 3,37                  | 81,46                  | 149,40                | 201,00   | 3,51 | 24,24 | 0,40  | 9,38  | 2,71 |
|      | PR5           | 5,23                  | 498,12                 | 196,48                | 184,62   | 4,88 | 30,66 | 0,39  | 10,21 | 2,48 |
|      | PR6           | 2,30                  | 93,41                  | 137,91                | 217,82   | 3,14 | 20,96 | 0,36  | 11,37 | 2,43 |
| 2009 | PR1           | 3,36                  | 0,01                   | 131,60                | 185,41   | 2,92 | 22,25 | 0,28  | 11,96 | 2,48 |
|      | PR2           | 4,69                  | 0,01                   | 125,55                | 216,09   | 2,80 | 23,98 | 0,26  | 9,28  | 2,34 |
|      | PR3           | 4,59                  | 0,01                   | 128,26                | 232,26   | 3,47 | 25,01 | 0,28  | 9,29  | 3,14 |
|      | PR4           | 3,85                  | 0,01                   | 128,51                | 192,35   | 2,64 | 28,09 | 0,32  | 12,28 | 3,11 |
|      | PR5           | 6,91                  | 0,01                   | 148,73                | 199,76   | 3,75 | 32,22 | 0,31  | 8,67  | 2,43 |
|      | PR6           | 2,92                  | 0,01                   | 130,72                | 195,07   | 2,57 | 24,17 | 0,29  | 13,56 | 2,84 |

Legenda: PR1 - nekošarovaný porast, PR2 - košarované v auguste 2005, PR3 - košarované na jeseň v roku 2004, PR4 - košarované v máji 2006, PR5 - košarované na jeseň 2006, PR6 - nekošarovaný porast.

Tab. 4: Produkcia sušiny a chemické zloženie nadzemnej biomasy na lokalite Šajbianska Bukovina za jednotlivé roky 2006 – 2009

| Rok  | Košar. plocha | úroda                 | NO <sub>3</sub>        | N- látky              | vláknina | P    | K     | Ca   | Mg    | Na   |
|------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------|------|-------|------|-------|------|
|      |               | (t.ha <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (g.kg <sup>-1</sup> ) |          |      |       |      |       |      |
| 2006 | BK1           | 2,86                  | 0,23                   | 102,98                | 250,98   | 1,89 | 18,38 | 0,52 | 8,01  | 2,61 |
|      | BK2           | -                     | 4029,29                | 187,59                | 201,87   | 2,45 | 29,28 | 0,67 | 7,28  | 2,06 |
|      | BK4           | -                     | 3290,57                | 211,96                | 136,43   | 2,88 | 35,01 | 0,67 | 9,27  | 2,45 |
| 2007 | BK1           | 1,57                  | 157,48                 | 105,55                | 225,31   | 1,60 | 18,15 | 0,33 | 6,38  | 2,05 |
|      | BK2           | 3,70                  | 319,57                 | 121,54                | 236,94   | 1,93 | 19,71 | 0,28 | 5,33  | 2,07 |
|      | BK3           | 2,45                  | 686,04                 | 166,59                | 219,98   | 2,14 | 21,39 | 0,34 | 8,68  | 2,26 |
|      | BK4           | 2,81                  | 43,80                  | 112,89                | 217,36   | 1,36 | 19,10 | 0,34 | 6,69  | 2,20 |
|      | BK5           | 1,85                  | 409,49                 | 138,29                | 211,30   | 1,58 | 23,11 | 0,35 | 6,00  | 2,02 |
| 2008 | BK1           | 2,86                  | 73,69                  | 107,90                | 212,01   | 1,68 | 20,62 | 0,37 | 8,52  | 1,99 |
|      | BK2           | 5,11                  | 83,34                  | 119,72                | 234,81   | 1,98 | 24,72 | 0,40 | 8,61  | 2,12 |
|      | BK3           | 5,12                  | 135,82                 | 119,87                | 227,35   | 1,83 | 20,80 | 0,37 | 8,04  | 1,95 |
|      | BK4           | 4,05                  | 259,04                 | 126,17                | 209,16   | 1,82 | 24,67 | 0,37 | 9,23  | 2,04 |
|      | BK5           | 4,52                  | 176,37                 | 124,99                | 205,35   | 1,71 | 24,00 | 0,36 | 8,57  | 2,00 |
| 2009 | BK1           | 2,28                  | 0,01                   | 120,99                | 185,71   | 1,71 | 23,37 | 0,25 | 9,25  | 2,45 |
|      | BK2           | 3,72                  | 0,00                   | 123,82                | 181,80   | 1,99 | 29,11 | 0,22 | 9,53  | 2,25 |
|      | BK3           | 3,64                  | 0,01                   | 119,54                | 178,71   | 2,02 | 27,26 | 0,25 | 11,07 | 2,54 |
|      | BK4           | 3,08                  | 0,00                   | 117,16                | 197,46   | 1,78 | 28,57 | 0,25 | 10,13 | 2,07 |
|      | BK5           | 3,88                  | 0,01                   | 131,73                | 181,54   | 1,89 | 27,91 | 0,24 | 11,54 | 2,31 |

Legenda: BK1 - nekošarovaný porast, BK2 - košarované v júli 2006 (ovce), BK3 - košarované v októbri 2006 (ovce), BK4 - košarované v júli 2006 (jalovice), BK5 - košarované v októbri 2006 (jalovice).

## LITERATÚRA

- 1/ Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie. Grunzüge der Vegetationskunde. – ed. Springer Verlag Wien et New York, 1964, 865 p
- /2/ Čunderlíková, Z., Polák, M., Ondrášek, L., Uhliarová, E.: Trvalo udržateľná produkcia lúk pomocou striedavého košarovania: *záverečná správa*. Banská Bystrica: VÚTPHP, 2002, 45 s
- /3/ Novák, J.: Obnova pasienkov na karpatských salašoch. Nitra: NOI- ÚVTIP, 2008, 200 s. ISBN 978-80-89088-64-5.
- /4/ Ondrášek, L., Martincová, J.: Vplyv rôznej intenzity košarovania na biologické a chemické vlastnosti pôdy vo vzťahu k produkčným a kvalitatívnym ukazovateľom trávneho porastu. In *Ekológia trávneho porastu VII*. Banská Bystrica : SCPV, 2007: 381-388. ISBN 978-80-88872-68-9.
- /5/ Ondrášek, L., Martincová, J., Jančová, L., Čunderlík, J., Rogožníková, A.: Environmentálne aspekty košarovania na trávnom poraste v poľnohospodárskej praxi. [Záverečná správa za subetapu]. Banská Bystrica: VÚTPHP, 2009. 44 s. 4 + 52 P tab., - Lit. 53
- /6/ Ondrášek, L., Martincová, J., Čunderlík, J.: Mineralizácia dusíka v pôde pod košarovaným trávnym porastom In [Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013]. predložený príspevok
- /7/ Seléšiová, Z., Maková, J., Javoreková, S., Hudecová, I.: Sledovanie zmien mikrobiologickej aktivity degradovaných vysokohorských pôd v národných parkoch Slovenska. In *Acta fytotechnica et zootechnica – Mimoriadne číslo Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae*, 2009: 601-609
- /8/ Šimek, M., Hynšt, J., Brůček, P., Čuhel, J.: Emise tzv. skleníkových plynů ( $N_2O$  a  $CO_2$ ) z pastevní půdy jako výsledek aktivity mikrobiálního společenstva – předběžné výsledky. In: *Život v půdě VI*. Praha : Česká zemědělská univerzita, 2005: 166-174. ISBN 80-213-1348-X,
- /9/ Uhliarová, E. *et al.*: The effects of folding on grassland of the Polana mountain region on central Slovakia. In *Proc. of the 17<sup>th</sup> General meeting of the EGF, Debrecen (Hungary)*, 1998: 269-272

## **VLIV RŮSTOVÉHO REGULÁTORU MODDUS NA PRODUKCI FYTOMASY VYBRANÝCH KULTIVARŮ TRÁVNÍKOVÝCH DRUHŮ TRAV V PODMÍNKÁCH NÍZKÉ SVĚTELNÉ INTENZITY**

### ***THE INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATOR MODDUS ON PHYTOMASS PRODUCTION OF SELECTED TRURGRASS SPECIES CULTIVARS UNDER LOW LIGHT CONDITIONS***

Jaroslav Martinek, Miluše Svobodová, Tereza Králíčková, Jaromír Šantrůček  
Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Katedra pícninářství a travníkářství, Kamýcká 129, 165  
21 Praha 6 – Suchbátka, martinekjaroslav@af.czu.cz

#### **Summary**

The efficiency of Moddus application frequency under low light conditions was tested in a pot experiment with monoculture of *Festuca arundinacea* (c. Palladio), *Poa pratensis* (c. HIFI), *Lolium perenne* (c. Filip). The application of Moddus (0,8 l Moddus + 400 l water per ha - 2 g TE per 100 m<sup>2</sup>) was sprayed every 14 or 30 days during four month (each variant had four replications), a control variant without treatment was established too. Weekly collected clippings (height of cut was 2,5 cm) were dried, weight, and calculated as clipping production per area. The data were proceeded in analyses of variance ANOVA LSD  $\alpha = 0,05$  (Statgraphics, version XV.). On average, significantly lower production of clippings in both variants under treatment with Moddus was confirmed, whereas, the highest effect was with *P. pratensis* (up to 71%), with *F. arundinacea* up to 63% and with *L. perennes* up to 48%.

**Key words:** *trinexapac-ethyl, turfgrass species, phytomass production, low light conditions*

#### **Souhrn**

V nádobovém pokusu ve skleníku byl zkoumán vliv frekvence ošetření růstovým regulátorem Moddus na monokultury kostřavy rákosovité (odr. Palladio), lipnice luční (odr. HIFI), jílku vytrvalého (odr. Filip) v podmínkách nízké světelné intenzity. Aplikace přípravku Moddus (0,8 l Moddus + 400 l vody/ha tj. 2 g TE na 100 m<sup>2</sup>) byla prováděna každých 14 nebo 30 dnů po dobu 4 měsíců (každá varianta měla čtyři opakování), založena byla i kontrola bez postřiku. Seč byla prováděna každý týden na výšku 2,5 cm, odstřížky byly usušeny, zváženy a přepočteny na hmotnost sušiny na m<sup>2</sup>. Výsledky byly vyhodnoceny analýzou rozptylu ANOVA LSD  $\alpha = 0,05$  (Statgraphics, verze XV.). Podařilo se potvrdit schopnost regulátoru růstu Moddus průkazně snížit produkci odstřížků i za zhoršujících se světelných podmínek a to u lipnice až o 71%, u kostřavy rákosovité až o 63% a jílku vytrvalého až o 48%.

**Klíčová slova:** *trinexapac-ethyl, travníkové druhy, produkce fytomasy*

#### **ÚVOD**

Významná část provozních nákladů vynaložených na ošetřování travních porostů je dána vstupy spojených s častým sečením travníků tj. personálními náklady a náklady představující vstupy energií nutných k pohonu žacíh jednotek - většinou fosilních paliv. S neustále se zvyšující cenou těchto vstupů a zároveň zvyšujícím se tlakem na šetrnější ekologické přístupy v ošetřování travníků, se hledají nové způsoby jak tyto výzvy řešit. Kromě použití moderní mechanizace s nižší spotřebou paliv nebo uplatnění elektro-motorů, lze dosáhnout snížení celkového počtu pojezdů (sečí) vhodnou volbou pomalu či nízkorostoucích druhů ve výsevní směsi nebo použití růstových regulátorů. Význam těchto opatření

stoupá s výměrou ošetřovaných porostů. Z tohoto důvodu je k nim přistupováno zejména u porostů v okolí silnic a železnic, letištních ploch, parků. V zemích s dlouholetou tradicí trávníkářství (Anglie, USA) jsou používány regulátory růstu i do hřišťových, často sečených a silně zatěžovaných trávníků, pro podporu spíše laterálního růstu trav na úkor růstu vzpřímeného, a tím dosažení např. hladšího povrchu golfových greenů /2/. Jde například o přípravky s účinnou látkou trinexapak-ethyl (Moddus či Primo Maxx), maleic hydrazide (Royal Mh 30), metsulfuron-methyl (Allie 20% WG 20). V ČR je prvně zmíněný produkt Moddus registrován pouze do travních porostů určených k produkci osiva, ostatní jmenované registrovány nejsou. Trinexapak-ethyl (dále jen TE) patří do skupiny cyklohexadionů. Mechanismus retardace růstu spočívá v inhibici funkce enzymu 3- $\beta$  hydroxylázy, který transformuje růst neaktivního giberelinu GA20 na vysoce účinný giberelin GA1 /10/, a to pomocí blokování hydroxylace neaktivní formy GA /7/. TE je absorbován zelenými částmi listů a je rychle distribuován do meristémů, kde blokuje prodlužování internodií. Tím je zabráněno prodlužovacímu růstu, dochází ke zkracování internodií a zesílení stěny stonku čímž se stává odolnější proti poléhání (důležité zejména v semenných porostech). Zároveň dochází k rozšiřování kořenového systému /11/. TE stejně tak inhibuje transport elektronů v mitochondriích a snižuje dýchání, čímž pomáhá ošetřeným rostlinám překonat vysoké teploty v období stresu /5/. Podobný efekt zvýšené odolnosti vůči stresu byl zjištěn u rostlin jílku vytrvalého a kostřavy rákosovité, kde po aplikaci TE byla prokázána zvýšená úroveň chlorofylu /4/. O účinku retardace růstu na lipnici luční, jílek vytrvalý, psineček výběžkatý, kostřavu rákosovitou nebo teplomilnou zoysii a troskut prstnatý po aplikaci TE referuje mnoho autorů /1, 3, 6, 9/. Cílem našeho pokusu bylo zjistit efektivitu frekvence aplikace v podmínkách zkracující se délky světelného dne od intenzivního odnožování trav v pozdním létě až po jeho pokles během podzimu.

## MATERIÁL A METODA

Skleníkový pokus byl založen v červnu 2011 vysetím monokultur kostřavy rákosovité (odr. Palladio), lipnice luční (odr. HIFI), jílku vytrvalého (odr. Filip) do nádob (15x15x30 cm - DxŠxV) se substrátem (křemičitý písek a rašelina 50:50). Teplota vzduchu byla udržovaná na 20 °C. Vycházející rostliny byly během prvních 3 měsíců od výsevu pravidelně zavlažované a byla prováděna pravidelná seč nůžkami s postupně se snižující výškou strniště z 6 cm na 2,5 cm s cílem podpořit tvorbu odnoží a hustotu porostu. Po 3 měsících od výsevu byl poprvé aplikován přípravek Moddus (0,8 l Moddus + 400 l vody na hektar tj. 2 g trinexapak-ethyl na 100 m<sup>2</sup>) přičemž další aplikace následovaly po 14 nebo 30 dnech po dobu 4 měsíců. Každá varianta byla provedena ve čtyřech opakováních, stejně tak byla založena i kontrola (bez aplikace). Všechny varianty včetně kontrolní byly každý týden sečeny na výšku 2,5 cm, odstřížky byly usušeny, zváženy a přepočteny na produkci sušiny na m<sup>2</sup>. Výsledky byly vyhodnoceny analýzou rozptylu ANOVA LSD  $\alpha = 0,05$  (Statgraphics, verze XV.).

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Z tabulky 1. je patrné, že aplikace přípravku Moddusu během čtyř měsíců měla u obou variant v průměru průkazný vliv na produkci celkové suché fytohmoty oproti kontrolní variantě každého testovaného druhu ( $p$ -value < 0,05). Při aplikaci 1x za měsíc byl zjištěn nejvyšší pokles celkové produkce fytohmoty odstřížků u lipnice luční (o 63%) a u kostřavy rákosovité (o 57%), pokles v produkci fytohmoty jílku byl u této varianty 40%. Častější aplikace 1x za 14 dnů znamenala zmenšení produkce fytohmoty odstřížků u jílku a lipnice o dalších 8%, u kostřavy rákosovité o 6% (rozdíly mezi variantami nebyly průkazné). Z výsledků je tak patrné, že největší vliv přípravku byl zaznamenán u lipnice luční, nejmenší byl u jílku vytrvalého. Pokles produkce fytohmoty byl v průběhu pokusu klesající i u kontrolní neošetřené varianty, což lze přičíst zkracujícímu se světelnému dni a útlumu tvorby odnoží

/8/, nicméně nebyl takový jako u obou ošetřovaných variant. Po čtyřech měsících se produkce fytohmoty u ošetřovaných variant téměř zastavila. Rozdíl v produkci fytohmoty se u ošetřených variant a kontrolou oproti měsícům s delším světelným dnem zvýšil, a to např. v listopadu zvláště u lipnice luční až o 81 a 95%, u kostřavy rákosovité o 79 a 88% (u variant ošetřených 1 a 2x měsíčně). Produkce fytohmoty u jílku se v tomto měsíci snížila o 42 a 64 %. Stejně tak je možné potvrdit rychlou reakci zpomalení růstu již v prvním měsíci aplikace u obou variant všech testovaných druhů.

Tab.1: Průměrná produkce nadzemní fytohmoty ( $\text{g/m}^2$ ) v závislosti na druhu a frekvenci ošetření přípravkem Moddus

| Druh                               | Varianta | Hmotnost sušiny (g/m <sup>2</sup> ) |       |          |          |         |   | Var. | Druh          | Hmotnost (g/m <sup>2</sup> )** |   |
|------------------------------------|----------|-------------------------------------|-------|----------|----------|---------|---|------|---------------|--------------------------------|---|
|                                    |          | Září                                | Říjen | Listopad | Prosinec | Celkem* |   |      |               |                                |   |
| Jílek<br>vytrvalý<br>Filip         | 14       | 34,5                                | 9,7   | 2,5      | 0,4      | 47,1    | a | 14   | J. vytrvalý   | 47,1                           | b |
|                                    | 30       | 33,1                                | 15,7  | 4        | 1,2      | 54,1    | a |      | K. rákosovitá | 24,7                           | a |
|                                    | K        | 55,8                                | 24,8  | 6,9      | 3,3      | 90,7    | b |      | L. luční      | 29,7                           | a |
|                                    | P-value  | -                                   | -     | -        | -        | 0,0056  |   |      | P-value       | 0,0066                         |   |
| Kostřava<br>rákosovitá<br>Palladio | 14       | 21,6                                | 2,1   | 0,9      | 0,1      | 24,7    | a | 30   | J.vytrvalý    | 54,1                           | b |
|                                    | 30       | 21,4                                | 5,2   | 1,6      | 0,6      | 28,8    | a |      | K. rákosovitá | 28,8                           | a |
|                                    | K        | 39                                  | 15    | 7,5      | 5,9      | 67,4    | b |      | L. luční      | 38,3                           | a |
|                                    | P-value  | -                                   | -     | -        | -        | 0,0004  |   |      | P-value       | 0,001                          |   |
| Lipnice<br>luční<br>HIFI           | 14       | 27,5                                | 1,9   | 0,4      | 0        | 29,7    | a | K    | J. vytrvalý   | 90,7                           | a |
|                                    | 30       | 30,8                                | 5,8   | 1,5      | 0,1      | 38,3    | a |      | K. rákosovitá | 67,4                           | a |
|                                    | K        | 64,1                                | 26,2  | 7,8      | 4,8      | 103     | b |      | L. luční      | 103                            | a |
|                                    | P-value  | -                                   | -     | -        | -        | 0,0004  |   |      | P-value       | 0,0535                         |   |

\* rozdílná písmena značí průkazné rozdíly v hmotnosti sušiny mezi variantami v rámci druhu

\*\* rozdílná písmena značí průkazné rozdíly v hmotnosti sušiny mezi druhy v rámci variant

Pokusem se podařilo prokázat schopnost regulátoru růstu Moddus průkazně retardovat produkci nadzemní fytohmoty (odstřížků) i za snižujících se světelných podmínek během podzimních měsíců a potvrdit efektivitu takového ošetřování. Na základě výsledků lze potvrdit, že míra potlačení růstu může být různá v závislosti na druhu /4/, přičemž touto konkurenční ne/výhodou lze dosáhnout významných změn ve výsledném složení travníkové směsi. Nicméně z výsledků vyplývá, že aplikace 1x za měsíc přinesla podstatně vyšší efekt zpomalení růstu, při další aplikaci za stejný časový úsek byl efekt maximálně jen o 8 % větší. Pro potvrzení těchto výsledků bude vhodné ověřit účinnost přípravku ve venkovních podmínkách maloparcelkového pokusu s přirozeným kolísáním teplot běžných pro podzimní období, s vyhodnocením celkového efektu retardace růstu.

#### LITERATURA

- /1/ Fagerness, M. J., Penner, D.: Evaluation of Y-10029 and trinexapac-ethyl for annual bluegrass seed head suppression and growth regulation of five cool-season turfgrass species. Weed Technology 12, 1998: 436-440.
- /2/ Fagerness, M. J., Yelverton, H. H., Isgrigg, J., Cooper, R. J.: Plant growth regulators and mowing height affect ball roll and quality of creeping bentgrass putting greens. Hort. Science, 35, 2000: 755-759.
- /3/ Fresenburg, M. J., Durm, J. H.: Trinexapac-ethyl restricts shoot growth and prolongs stand density of Meyer'zoysia grass fairway under shade. Hort. Science. 37, 2002: 502-505.

- /4/ Haensel, E, Mitra, S., Jurisic, I., Müller, M.: Effect of Different Types of Growth Regulators on Shoot and Root Growth, and Stress Tolerance of Cool-Season Turfgrasses. Proceedings of 2nd European Turfgrass Society Conference, Angers Loire Valley, France. 2010: 90-92.
- /5/ Heckman, N. L., Elthon, T. E., Horst, G. L., Gaussoin, R. E.: Influence of Trinexapac-Ethyl on Respiration of Isolated Wheat Mitochondria. *Crop Science* 42. 2002: 423-427.
- /6/ Jiang, H., Fry J.: Drought responses of perennial ryegrass treated with plant growth regulators. *Hort. Science* 33, 1998: 270-273.
- /7/ King, R. W. *et al.*: Modified gibberellins retard growth of cool-season turfgrasses. *Crop Sciences*, 1997, Volume 37, 1997: 1878-1883.
- /8/ Macháč, J.: Obecné zásady pěstování trav na semeno in Cagaš, B. *et al.*, 2010. Trávy pěstované na semeno. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Ing. Petr Baštan, 2010: 276 s.
- /9/ McCann, S. E., Huang, B.: Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. *Crop Sci.* 47, 2007: 2121-2128.
- /10/ Rademacher, W.: Growth Retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, June 2000, Vol. 51, 2000: 501-531
- /11/ Vokřál, M.: *Moddus - regulátor růstu pro jarní aplikaci v řepce olejce*. ČZU Praha: Vystaveno únor 2006. [cit. 2006-11-28]. <http://max.af.czu.cz/svri/sbornik06/>

### Poděkování

Výsledky byly získány za podpory interního grantu SGS FAPPZ 2012 a "S" grantu MŠMT ČR FAPPZ ČZU v Praze.



## **MORFOLOGICKÉ A FYZIOLOGICKÉ PARAMETRY *TILIA PLATYPHYLLOS* L. S VYUŽITÍM APLIKACE HYDROGELU**

### ***MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF *TILIA PLATYPHYLLOS* L. BY USING THE APPLICATIONS OF HYDROGEL***

Maksat B. Matraimov, Petr Salaš, Martin Jonáš, Hana Sasková, Tivadar Baltazár  
Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Ústav šlechtění a množení zahradnických rostlin,  
Valtická 337, 69 144 Lednice, Česká republika, maksat.bekboo@email.cz

#### **Summary**

The aim of this work was to evaluate the effect of hydroabsorbent (Hydrogel) and growing technology on morphological and physiological parameters of the model plants. As a model plant was chosen Large-leaved Linden (*Tilia platyphyllos* Scop.). Plants were planted in loose soil, containers and *air-pot*. Hydrogel was applied in three concentrations ( $2 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $3.5 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $5 \text{ kg m}^{-3}$  substrate). Impact of hydrogel caused positive changes in all cases and in average value of monitored parameters has been increased, however this increase is not directly proportional to the dose of hydrogel.

*Key words: Hydrogel, water stress, Tilia platyphyllos L., Air-pot® containers.*

#### **Souhrn**

Cílem práce bylo zhodnotit vliv aplikace hydroabsorbentu Hydrogel a pěstitelské technologie na morfologické a fyziologické parametry modelové rostliny lípy velkolisté (*Tilia platyphyllos* L.). Rostliny byly vysazeny do volné půdy, kontejnerů a *air-pot* pěstebních tašek. Hydrogel byl aplikován ve třech koncentracích ( $2 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $3,5 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $5 \text{ kg m}^{-3}$  pěstebního substrátu). Vliv hydrogelu způsobil ve všech případech pozitivní změnu a průměrná hodnota sledovaných parametrů se navýšila, ovšem tento nárůst není přímo úměrný dávkám hydrogelu.

*Klíčová slova: Hydrogel, vodní stres, Tilia platyphyllos L., Air-pot® kontejnery.*

## **ÚVOD**

Rostliny jsou v průběhu svého života vystaveny velkému množství nepříznivých vlivů, které je nejen ohrožují, ale také zpomalují jejich životní funkce. Stresor je faktor, který může být abiotický nebo biotický, narušuje přirozené fungování rostliny a zapříčiňuje její oslabování. Pokud stresor působí na rostlinu delší dobu, může to pro ni znamenat nebezpečí přímého poškození nebo druhotného napadení chorobami ve větší míře, než rostliny nestresované /5/.

Biotické a abiotické stresové faktory mohou ovlivnit produktivitu o 65-87 % /6/, přičemž limitujícím faktorem produktivity zemědělských i přirozených ekosystémů je voda /9/. Vodní stres snižuje aktivitu enzymů, zpomaluje růst rostlin, při krátkodobém poklesu množství vody v listech pod 60% dochází k nevratnému poškození pletiv a uhynutí /10/.

Pomocné půdní látky se využívají při zakládání a ošetřování všech typů trávníků. Jejich účinků je využito v případech, kdy půdní struktura a další půdní vlastnosti nejsou v optimálním stavu pro vývoj rostlin /8/.

Syntetické polymery ve formě krystalů jsou k dispozici pod několika obchodními názvy, jako jsou super-absorbent polymery a jsou společně označovány jako Hydrogel. Mají velký potenciál z hlediska absorpce vody a živin a zajišťuje její maximální dostupnost pro kořeny rostlin. Dodaný do půdy v optimálním množství podporuje růst rostlin a minimalizuje půdní evapotranspiraci /3, 4, 11, 12/. Hydrogel snižuje vodní stres rostlin a zlepšuje poréznost půdy /12/.

## MATERIÁL A METODA

Na jaře 2012 byl na experimentálních plochách ZF MENDELU Brno, Ústavu šlechtění a množení zahradnických rostlin v Lednici založen dvou faktorový pokus. V pokusu byl sledován vliv aplikace Hydrogelu na růst modelových rostlin. Byly také srovnávány různé pěstitelské technologie.

K pokusům byly využity již existující pokusné plochy – kontejnerovna a okolní školkařské plochy (volná půda). Jako modelová rostlina byla vybrána lípa velkolistá (*Tilia platyphyllos* L.), která představuje druh s relativně snadnou technologií pěstování, ovšem se zvýšenými nároky na vodu. Dostatečně velká listová plocha je základem pro přesnější měření příslušných parametrů. Pokusné rostliny byly zakoupené v Nizozemí, měly standardizovanou výšku 0,4 m a průměr kořenového krčku 3-5 mm. Rostlinám byl před výsadbou zakrácen kořenový systém na délku 0,1-0,15 m.

V pokusu byly hodnoceny tři různé pěstitelské technologie, z hlediska pěstebních nádob (výsadba do klasických kontejnerů, *air-pot* pěstebních tašek a do volné půdy). Z každé pěstitelské technologie byly založeny čtyři pokusné varianty, tři s aplikací hydroabsorbentu, čtvrtá kontrolní varianta, vždy ve čtyřech opakováních (tj. 40 ks rostlin ve variantě). V každé variantě pokusu (mimo kontrolní), byl do substrátu přimíchán hydroabsorbent Hydrogel ve třech aplikačních dávkách ( $2 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $3,5 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $5 \text{ kg.m}^{-3}$  substrátu či půdy). Rostliny byly vysazovány do substrátu s již přimíchaným Hydrogelem. Experiment zahrnoval celkem 480 ks pokusných rostlin. Kontejnery a *air-pot* pěstební tašky měly objem 5 litrů. Při aplikaci do volné půdy byla ornice ve stejném objemu vyzvednuta, promíchána pečlivě s Hydrogelem a vrácena na pokusnou plochu.

V průběhu vegetace bylo prováděno měření fyziologických parametrů, a to: měření průduchové vodivosti (Porometer AP4), měření obsahu chlorofylu v listech (Chlorofyllmeter CCM 200), měření fotosyntetické výkonnosti (Chlorofyll Fluorometer OS 30). Měření fyziologických parametrů bylo zahájeno v době, kdy již měly rostliny první plně vyvinuté listy.

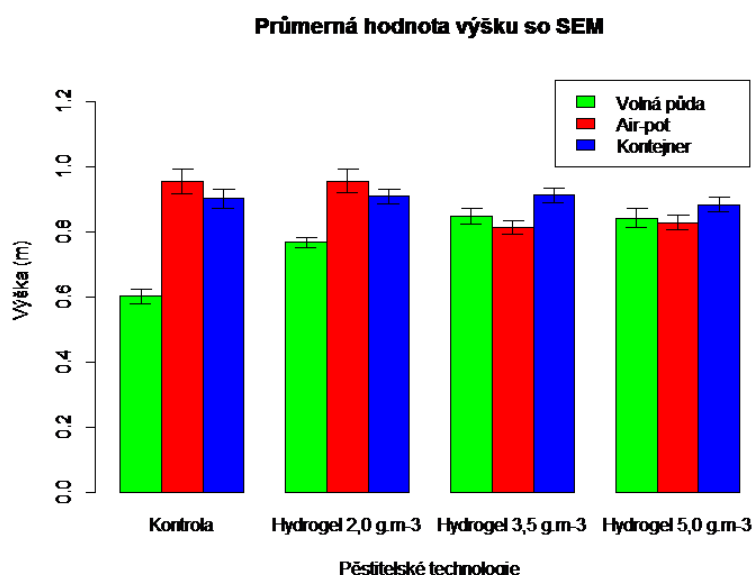
Při založení experimentů bylo provedeno zaznamenání vstupních morfologických parametrů rostlin, rostliny byly měřeny také v průběhu vegetace. Pokusné rostliny byly hodnoceny jedno vegetační období. Před zahájením pokusu byly odebrány vzorky půdy a pěstebních substrátů a následně v akreditované laboratoři firmy AGRO CS Česká Skalice provedeny rozbory.

K analýze dat byla použita dvoufaktorová analýza rozptylů tabulka typu I, založené na sekvenčních součtech čtverců (Two-way analysis of variance, type I sequential sum of

squares). V tomto případě byl první faktor „pěstitelské technologie“ a druhý faktor byl „hydrogel“. „Treatment kontrast“ byl použitý k detekování statisticky významných rozdílů uvnitř jednotlivých úrovní v rámci faktorů. Výsledky interpretované na hladině signifikance 0.05. Po analýze byly všechny přijaté statistické modely kontrolovány především pomocí diagnostických grafů. Při zpracování údajů byl použitý program Microsoft Excel 2010 a k analýze dat program R verze 2.15.1. (R Development Core Team 2012) a na psaní R skriptů Tinn-R editor skriptů /1/.

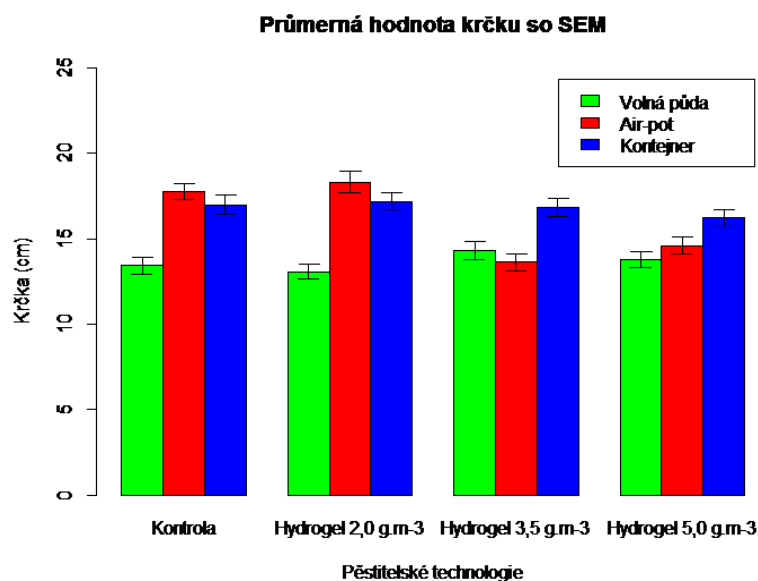
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Vzhledem k tomu, že v některých případech nebyly splněny podmínky pro ANOVA analýzu, musela být opakována pomocí neparametrických testů. Pro tento účel byl použit Kruskal-Wallisův test. Při detekování rozdílu mezi jednotlivými úrovněmi v rámci faktorů byl použitý balík „pgirmess“ /2/.



Graf 1: Průměrné hodnoty výšky rostlin jednotlivých variant

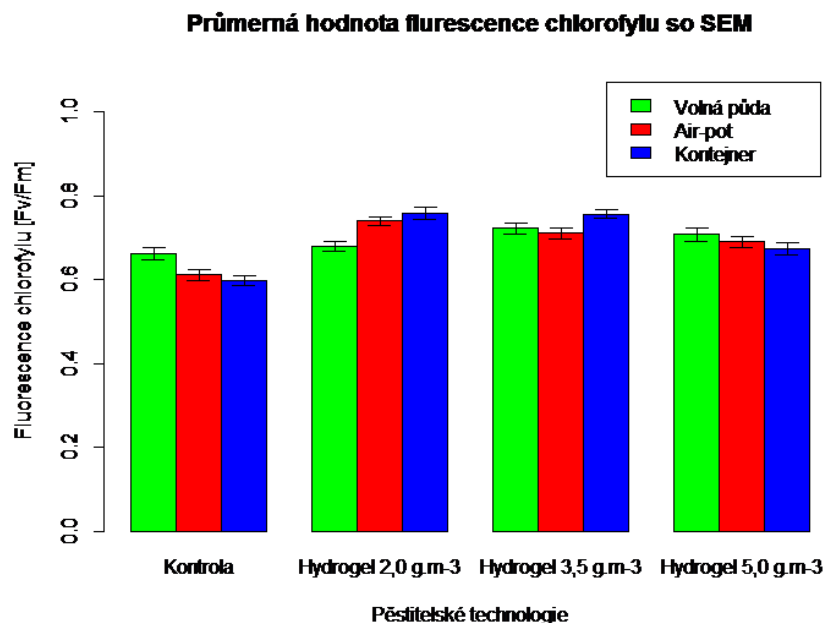
Na základě výsledků dvoufaktorové ANOVY můžeme říct, že vliv „pěstitelské technologie“ na výšku je statisticky významný ( $F_{2,468} = 32.5$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin), ale vliv hydrogelu na výšku již ne ( $F_{3,468} = 2.49$ ,  $p=0.06$ ;  $n=40$  u všech skupin), interakce (pěstitelské technologie:hydrogel) je také významná ( $F_{6,468} = 12.69$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin). Treatment kontrast ukázal statisticky signifikantný rozdíl jednotlivých variant ke kontrolní variantě dřevin ve volné půdě ( $p < 0.01$  ve všech případech). Při vyloučení vlivu prvního faktoru jsou výsledky v menší míře pozměněny: u kontejneru vliv hydrogelu je statisticky nevýznamný ( $F_{3,156} = 0.26$ ,  $p=0.85$ ;  $\chi^2 = 0.68$ ,  $df=3$ ,  $p=0.88$ ,  $n=40$  u všech skupin), u air-pot pěstební tašky je vliv významný ( $F_{3,156} = 6.55$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 15.25$ ,  $df=3$ ,  $p=0.002$ ,  $n=40$  u všech skupin) a ve volné půdě je vliv hydrogelu také významný ( $F_{3,156} = 23.16$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 49.52$ ,  $df=3$ ,  $p < 0.001$ ,  $n=40$  u všech skupin). U air-pot tašky je vliv hydrogelu negativní, ale ve volné půdě je výška dřevin zvýšena důsledkem hydrogelu.



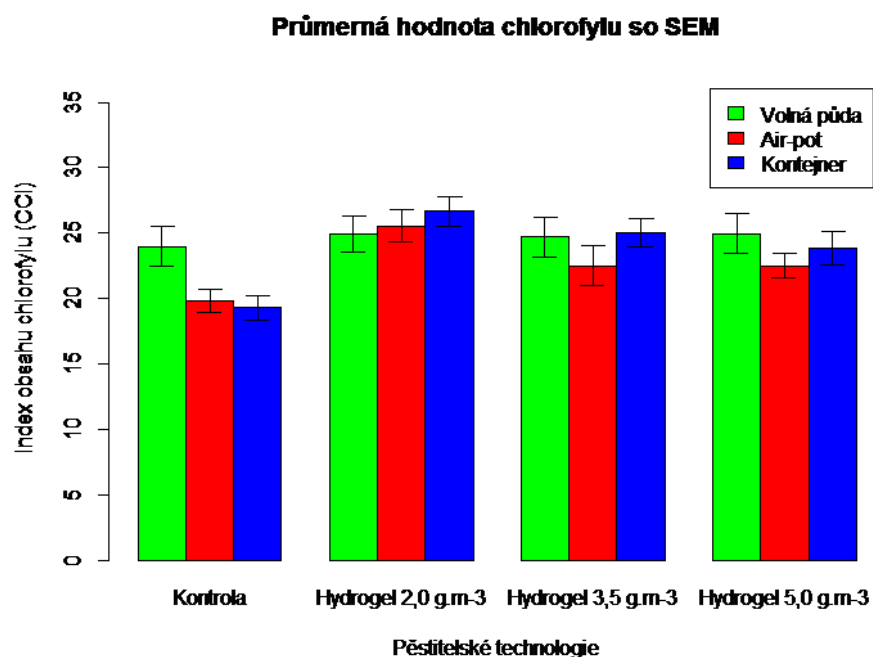
Graf 2: Hodnoty průměru kořenového krčku rostlin jednotlivých variant

Vliv „pěstítkové technologie“ na průměr kořenového krčku je statisticky významný ( $F_{2,468} = 42.4$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin), vliv hydrogelu na průměr kořenového krčku také ( $F_{3,468} = 5.87$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  ve všech skupin), interakce (pěstítkové technologie:hydrogel) je také významná ( $F_{6,468} = 8.20$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin). Treatment kontrast ukázal statistický signifikantní rozdíl ( $p < 0.001$ ) od kontejneru a air-pot pěstební tašky k volné půdě. Vliv hydrogelu je méně významný ke kontrole ve volné půdě. Při vyloučení vlivu prvního faktoru, jsou výsledky v menší míře pozměněny: u kontejneru vliv hydrogelu je statisticky nevýznamný ( $F_{3,156} = 0.66$ ,  $p = 0.58$ ;  $\chi^2 = 1.37$ ,  $df=3$ ,  $p = 0.71$ ,  $n=40$  u všech skupin), u air-pot pěstební tašky je vliv významný ( $F_{3,156} = 19.28$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 43$ ,  $df=3$ ,  $p < 0.001$ ,  $n=40$  u všech skupin) a volné půdě vliv hydrogelů nevýznamný ( $F_{3,156} = 1.16$ ,  $p = 0.33$ ;  $\chi^2 = 3.95$ ,  $df=3$ ,  $p = 0.27$ ,  $n=40$  u všech skupin). U air-pot tašky je vliv hydrogelu negativní.

Vliv „pěstítkové technologie“ na fluorescenci chlorofylu je statisticky nevýznamný ( $F_{2,468} = 0.36$ ,  $p = 0.69$ ;  $n=40$  u všech skupin), ale vliv hydrogelu na fluorescenci je již statisticky významný ( $F_{3,468} = 41.30$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin), interakce (pěstítkové technologie:hydrogel) je také významný ( $F_{6,468} = 6.92$ ,  $p < 0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin). Treatment kontrast ukázal statistický signifikantní rozdíl ( $p < 0.001$ ) od kontejneru a air-pot pěstební tašky k volné půdě. Vliv hydrogelu je významný ve vícero případech. Při vyloučení vlivu prvního faktoru jsou výsledky v menší míře pozměněny: u kontejneru je vliv hydrogelu statisticky významný ( $F_{3,156} = 35.75$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 68.93$ ,  $df=3$ ,  $p < 0.001$ ,  $n=40$  u všech skupin), u air-pot pěstební tašky je vliv také významný ( $F_{3,156} = 19.0$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 46.71$ ,  $df=3$ ,  $p < 0.001$ ,  $n=40$  u všech skupin) a ve volné půdě je vliv hydrogelu významný jenom na hladině signifikance 0,05 ( $F_{3,156} = 3.63$ ,  $p = 0.014$ ;  $\chi^2 = 9.51$ ,  $df=3$ ,  $p = 0.02$ ,  $n=40$  u všech skupin). Vliv hydrogelu způsobil ve všech případech pozitivní změnu a průměrná hodnota sledovaného parametru se navýšila, ovšem tento nárůst není přímo úměrný dávkám hydrogelu.



Graf 3. Hodnoty fluorescence chlorofylu  $F_v/F_m$  jednotlivých



Graf 4. Hodnoty indexu obsahu chlorofylu (CCI) jednotlivých variant

Vliv „pěstitelské technologie“ na obsahu chlorofylu je statisticky nevýznamný ( $F_{2,468} = 2.66$ ,  $p=0.08$ ;  $n=40$  u všech skupin), ale vliv hydrogelu na obsah chlorofylu je již signifikantní ( $F_{3,468} = 7.21$ ,  $p<0.001$ ;  $n=40$  u všech skupin), interakce (pěstitelské technologie:hydrogel) je nevýznamný ( $F_{6,468} = 1.37$ ,  $p=0.22$ ;  $n=40$  u všech skupin). Treatment kontrast ukázal statistický signifikantný rozdíl ( $p<0.01$ ) od kontejneru a air-pot pěstební tašky k volné půdě. Vliv hydrogelu ke kontrolní variantě ve volné půdě je statisticky nevýznamný. Při vyloučení vlivu prvního faktoru, jsou výsledky v menší míře pozměněny: u kontejneru je vliv hydrogelu

statisticky významný ( $F_{3,156} = 8.15$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 28.21$ ,  $df=3$ ,  $p < 0.001$ ,  $n=40$  u všech skupin), u air-pot pěstební tašky je vliv také významný ( $F_{3,156} = 4.13$ ,  $p = 0.008$ ;  $\chi^2 = 13.49$ ,  $df=3$ ,  $p = 0.004$ ,  $n=40$  u všech skupin), ale u volné půdy je vliv hydrogelu již nevýznamný ( $F_{3,156} = 0.10$ ,  $p = 0.96$ ;  $\chi^2 = 0.56$ ,  $df=3$ ,  $p = 0.90$ ,  $n=40$  u všech skupin). Vliv hydrogelu způsobil ve všech případech pozitivní změnu a průměrná hodnota sledovaného parametru se navýšila, ovšem tento nárůst není přímo úměrný dávkám hydrogelu.

## LITERATURA

- /1/ Faria, J. C.: Resources of Tinn-R GUI/Editor for R Environment. UESC, Ilheus, Brasil, 2011
- /2/ Giraudoux, P.: Data analysis in ecology. R package version 1.5.4.  
<http://CRAN.R-project.org/package=pgirmess>, 2012
- /3/ Henderson, J. C., Hensley, D. L.: Ammonium and nitrate retention by a hydrophilic gel. Hort. Sci., 20, 1985: 667–668.
- /4/ Ingram, D. L., Yeager, T. H.: Effect of irrigation frequency and a water-absorbing polymer amendment on Ligustrum growth and moisture retention by a container medium. J. Environ. Hort., 5, 1987: 19–21.
- /5/ Johnson, M. S.: Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. J. Sci. Food Agr., 35, 1984: 1063–1066.
- /6/ Laughlin, D. C., Bakker, J. D., Stoddard, M. T., Daniels, M. L., Springer, J. D., Gildar, C. N., Green, A. M., Covington, W. W.: Toward reference conditions: wildfire effects on flora in an old-growth ponderosa pine forest. Forest Ecol. Manage. 199, 2004: 137–152.
- /7/ R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org/>, 2012
- /8/ Straka, J., Straková, M.: Zkušenosti s půdními kondicionéry při zatravňování svahů na extrémních stanovištích. In: Trávníky 2003. Hrdějovice: Bonus, 2003: 16–21, ISBN 80-902690-8-7.
- /9/ Strange, N. R.: Introduction to Plant Pathology. Wiley Verlag, Weinheim 2003: 464 s.
- /10/ Strouts, R. G., Winter, T. G.: Diagnosis of ill-health in tress. TSO, Edinburg, 2000: 332 s.
- /11/ Wang, Y. T., Boogher, C. A.: Effect of a medium-incorporated hydrogel on plant growth and water use of two foliage species. J. Environ. Hort., 5, 1987: 127–130.
- /12/ Wang, Y. T., Gregg, L. L.: Hydrophilic polymers – their response to soil amendments and effect on properties of a soil less potting mix. J. Am. Soc. Hort. Sci., 115, 1990: 943–948.

## MINERALIZÁCIA DUSÍKA V PÔDE POD KOŠAROVANÝM TRÁVNÝM PORASTOM

### NITROGEN MINERALIZATION IN GRASSLAND SOIL AFTER FOLDING WITH ANIMALS

Ľudovít Ondrášek, Janka Martincová, Jozef Čunderlík

Centrum výskumu rastlinnej výroby – Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva Mládežnícka 36, 974 21 Banská Bystrica, martincova@vutph.sk

#### Summary

Over 2006 – 2009 growing seasons, a research was conducted at four grassland sites in central Slovakia: *Priechod* (577 m a.s.l.), *Šajbianska Bukovina* (1162 m a.s.l.), *Donovaly* (963 m a.s.l.) and *Hrochoť* (845 m a.s.l.) with the aim to study effects of folding with sheep and heifers on the intensity of total mineralization of nitrogen (TMN), on the rate of nitrification (NIT) and on the instantaneous content of  $\text{NH}_4$  - N and  $\text{NO}_3$  - N in soil. Notable stimulation of TMN and NIT was found at *Priechod* and *Šajbianska Bukovina* sites during the folding year as well as in the following two years. Due to intensive input of faeces and notable damage to original sward, very high amounts of mineral N forms were found. A residual stimulatory influence of folding on TMN and NIT was found also at *Donovaly* site. The increased TMN and NIT continue at *Hrochoť*, because the folding is repeatedly applied every 4 to 6 years.

**Key words:** *grassland, folding, soil, mineralization of nitrogen, instantaneous content of  $\text{NH}_4^+$  - N and  $\text{NO}_3$  - N*

#### Súhrn

V priebehu vegetácie rokov 2006-2009 sme v oblasti stredného Slovenska na stanovišti *Priechod* (nadm. výška 577 m), *Šajbianska Bukovina* (nadm. výška 1162 m), *Donovaly* (nadm. výška 963 m) a *Hrochoť* (nadm. výška 845 m) sledovali vplyv košarovania ovcami a jalovicami na celkovú mineralizáciu dusíka (TMN), nitrifikáciu (NIT) a momentálny obsah  $\text{NH}_4$ -N a  $\text{NO}_3$ -N v pôde. Na stanovišti *Priechod* a *Šajbianska Bukovina* sme v roku košarovania a v nasledovných dvoch rokoch zistili výraznú stimuláciu TMN a NIT. V dôsledku toho a zároveň aj v dôsledku veľkého prísunu zvieracích výkalov a devastácie pôvodného porastu zvieratami sme zaznamenali v pôde vysoké koncentrácie minerálnych foriem N. Reziduálny vplyv nadmerného košarovania sa prejavuje v stimulovanej TMN a NIT a vo zvýšenej prítomnosti minerálnych foriem N v pôde na stanovišti *Donovaly*. Zvýšenú schopnosť TMN a NIT si udržuje pôda na stanovišti *Hrochoť*, kde sa plochy trávneho porastu dlhodobo systematicky košarujú v cykloch v cca 4-6 rokov.

**Kľúčové slová :** *trávny porast, košarovanie, pôda, mineralizácia N, momentálny obsah  $\text{NH}_4$ -N a  $\text{NO}_3$ -N*

#### ÚVOD

Košarovanie na trávnych porastoch pri dodržiavaní správnych postupov môže zlepšiť biologické a chemické vlastnosti pôdy so súčasným vzrastom produkcie a kvality trávneho porastu. Naopak, pri porušovaní zásad správneho košarovania najmä pri tzv. prekošarovaní

plôch dochádza na trávnych porastoch z environmentálneho hľadiska k viacerým negatívnym javom. Preto sa vplyvu košarovania na produkčné a kvalitatívne zloženie porastu, chemické a biologické vlastnosti pôdy vo vzťahu k životnému prostrediu venuje zvýšená pozornosť /2, 4, 5, 6, 7/. Cieľom nášho príspevku je zhodnotiť vplyv košarovania ovcami a jalovicami priamo v poľnohospodárskej praxi v oblasti stredného Slovenska na intenzitu a priebeh mineralizácie dusíka a obsah minerálnych foriem dusíka v pôde pod poloprirodným trávnym porastom na stanovišti Donovaly a Hrochoť kde hodnotíme reziduálny vplyv košarovania po viacerých rokoch po košarovaní a na stanovišti Priechod a Strelníky so zameraním sa najmä na čerstvo košarované plochy

## MATERIÁL A METÓDA

Pokus Miesta staršieho a čerstvého košarovania hospodárskymi zvieratami boli vybrané priamo v podmienkach praktického využívania poloprirodných trávnych porastov poľnohospodárskymi podnikmi. Výskum prebiehal v rokoch 2006-2009.

Na stanovišti *Priechod* (poloha - 48°47'9.42"N, 19°13'12.48"E; nadm. výška 577 m; pôda kambizem -  $pH_{(nKCl)} = 4,4$ , obsah Cox = 44.0 g.kg<sup>-1</sup> a Nt = 4.1g. kg<sup>-1</sup>) boli vybrané nasledovné košarované plochy: PR1 - nekošarovaný porast (južný svah), PR 2 - miesto košarované v auguste 2005 (južný svah), PR 3 - košarované na jeseň v roku 2004 (južný svah), PR 4 - košarované v máji 2006 (severný svah), PR 5 - košarované na jeseň 2006 (severný svah), PR 6 - nekošarovaný porast (severný svah). Na čerstvo košarovaných miestach (PR4, PR5) košarovalo 500 ks oviec. Rozmer košiara 12 x 9 m pri 2 dňovom prekladaní.

Na stanovišti *Šajbianska Bukovina* (poloha - 48°41'25.67"N, 19°26'10.50"E; nadm. výška 1162 m; pôda kambizem -  $pH_{(nKCl)} = 4,0$ , obsah Cox = 74.5 g.kg<sup>-1</sup> a Nt = 8.3 g. kg<sup>-1</sup>) sme vybrali nasledovné košarované plochy: BK1 - nekošarovaný porast, BK2 - košarované v júli 2006 (ovce), BK3 - košarované v októbri 2006 (ovce), BK4 - košarované v júli 2006 (jalovice), BK5 - košarované v októbri 2006 (jalovice). Na ploche BK2 a BK3 sa košarovalo ovcami v počte 200 ks, rozmer košiara bol 8 x 12 m. a na ploche BK4 a BK5 sa košarovalo jalovicami v počte 62 ks, rozmer košiara bol 12 x 12 m.

Na stanovišti *Donovaly* lokalita Mišúty (poloha 48°52'45.36"N, 19°14'19.38"E; nadm. výška 963 m; pôda kambizem -  $pH_{(nKCl)} = 4,5$ , obsah Cox = 47,5 a Nt = 5,1g. kg<sup>-1</sup>) sa sledovali tieto košarované plochy: (N3) nekošarovaný porast, (N2) miesto košarované 17.5.2003, (N1) miesto košarované 5.7.2003, (S1) miesto košarované v roku 1986-1987 – staré stádlisko cca 500 oviec. Plocha N2 a N1 bola v roku 2003 košarovaná stádom jariet a jahničiek o celkovom počte 260 kusov. Košiare boli veľké 10 x 10 m a prekladali sa každý druhý deň.

Na stanovišti *Hrochoť* (poloha 48°39'51.78"N, 19°21'37.74"E; nadm. výška 845 m; pôda kambizem -  $pH_{(nKCl)} = 3,7$ , obsah Cox = 46,1 a Nt = 3,7 g. kg<sup>-1</sup>) sa sledovali nasledovné košarované plochy: HN3 – nekošarovaný porast, HN2 - miesto košarované 8.7.2003, HN1 - miesto košarované 19.5.2003. Košarovalo sa stádom 110 starších jalovíc, veľkosť košiara 15 x 15 m pri prekladaní každé 2 dni, za daždivého počasia každý deň.

Na stanovištiach *Hrochoť*, *Priechod* a *Šajbianska Bukovina* sa v priebehu vegetačného obdobia roku 2006 urobilo 5 odberov (máj, jún, júl, august, október), v roku 2007 až 2008 4 odbery (apríl, jún, august, október) a v roku 2009 3 odbery (apríl, jún, august) pôdných vzoriek. Na Donovaloch boli vzorky odoberané v roku 2006 v máji, júni a v septembri, v roku 2007 v apríli, júli, septembri a októbri a v roku 2008 v apríli, júni a auguste. Vo vzorkách odoberaných z vrstvy 0-100 mm, 100-200 mm, 200-300 mm sa po preosiati cez 2 mm sito pri zachovaní ich prirodzenej vlhkosti sledovali nasledovné ukazovatele: a/ momentálny obsah NH<sub>4</sub>-N a NO<sub>3</sub>-N kolorimetrickou metódou na prístroji SKALAR, b/



celková mineralizácia dusíka (TMN) a nitrifikácia (NIT) po 14-dňovej aerobnej inkubácii pôdných vzoriek v termostate pri teplote 25 °C (vo vrstve 0-100 mm).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Na stanovišti *Priečhod* bola v pôde košarovaných porastov v priebehu celého trvania výskumu výrazne stimulovaná TMN a NIT pričom hodnoty NIT boli takmer úplne totožné s TMN čo znamená, že takmer všetok zamonifikovaný dusík bol zoxidovaný na nitráty a to i napriek nízkej hodnote pH. Preto ďalej hodnotíme iba výsledky TMN. Z tab. 1 vyplýva, že TMN bola v priebehu rokov 2006 až 2009 pod staršie košarovanými plochami PR2 a PR3 v porovnaní s PR1 vyššia 1,7x až 2,9x. V pôde pod čerstvo košarovanými plochami PR5 a PR4 boli hodnoty TMN v porovnaní s kontrolou (PR6) v priebehu trvania výskumu vyššie 1,6x až 3,8x. Následkom vzrastu TMN a NIT sa zvýšila najmä koncentrácia nitrátovej formy N v pôde (tab. 2). V roku 2006 sme zistili tesne po košarovaní v V. odbere (25.10.) vo vrstve 0-100 mm plochy PR5 272,3 mg N. kg<sup>-1</sup>, na ploche PR4 v II. odbere (9.6.) 66,8 mg. N. kg<sup>-1</sup> a v V. odbere (25.10.) vo vrstve 100-200 mm 42,3 mg N. kg<sup>-1</sup> a 200-300 mm 39,2 mg N.kg<sup>-1</sup>.

Tab. 1: Priemerné hodnoty celkovej mineralizácie dusíka (TMN) v mg NH<sub>4</sub>-N kg<sup>-1</sup> 14 d<sup>-1</sup>, nitrifikácie (NIT) v mg NO<sub>3</sub>-N. kg<sup>-1</sup>. 14 d<sup>-1</sup>

| Stanovište          | Košarovaná plocha | Rok  |       |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                     |                   | 2006 |       | 2007 |      | 2008 |      | 2009 |      |
|                     |                   | TMN  | NIT   | TMN  | NIT  | TMN  | NIT  | TMN  | NIT  |
| Priečhod            | PR1               | 13,6 | 14,5  | 9,1  | 7,5  | 8,2  | 9,1  | 11,9 | 11,2 |
|                     | PR2               | 25,4 | 25,8  | 16,4 | 13,4 | 18,7 | 19,5 | 20,7 | 20,7 |
|                     | PR3               | 37,3 | 35,5  | 21,7 | 21,7 | 19,2 | 19,4 | 35,0 | 35,6 |
|                     | PR4               | 46,0 | 47,0  | 19,8 | 19,9 | 20,7 | 21,2 | 19,1 | 19,7 |
|                     | PR5               | 29,3 | 128,0 | 17,9 | 15,2 | 36,9 | 37,3 | 29,6 | 30,4 |
|                     | PR6               | -    | -     | 11,4 | 11,3 | 9,7  | 11,9 | 13,5 | 13,7 |
| Šajbianska Bukovina | BK1               | 9,7  | 4,6   | 11,0 | 0,1  | 4,9  | 0,0  | 9,4  | 0,9  |
|                     | BK2               | 25,3 | 37,4  | 38,1 | 23,4 | 31,8 | 32,3 | 22,4 | 10,5 |
|                     | BK3               | 9,0  | 9,8   | 27,2 | 19,6 | 18,0 | 15,1 | 20,3 | 9,4  |
|                     | BK4               | 12,7 | 10,0  | 14,8 | 5,8  | 19,3 | 14,5 | 9,8  | 1,6  |
|                     | BK5               | 16,2 | 13,0  | 31,9 | 31,4 | 14,6 | 8,3  | 14,4 | 5,0  |
| Donovaly            | N3                | 16,5 | 15,5  | 5,9  | 3,6  | 11,8 | 9,1  | -    | -    |
|                     | N2                | 30,0 | 30,4  | 21,9 | 20,3 | 29,1 | 30,7 | -    | -    |
|                     | N1                | 27,3 | 27,5  | 23,1 | 22,8 | 48,5 | 50,8 | -    | -    |
| Hrochot'            | HN3               | 12,0 | 9,8   | 8,5  | 5,4  | 23,7 | 24,6 | 18,2 | 16,3 |
|                     | HN2               | 26,1 | 25,6  | 17,4 | 17,8 | 28,4 | 29,1 | 39,3 | 45,0 |
|                     | HN1               | 34,4 | 33,7  | 17,7 | 17,8 | 30,5 | 29,1 | 26,4 | 25,0 |

Pomerne vysoký obsah nitrátov sme na košarovaných plochách zisťovali aj v nasledovných dvoch rokoch výskumu (Tab. 2).

Rovnako aj na stanovišti *šajbianska Bukovina* spôsobilo čerstvé košarovanie výrazný vzrast TMN v pôde (Tab. 1). Jej najintenzívnejší priebeh bol v roku 2007 keď bola 2,9x (BK5) až 3,5x (BK2) ale najmä v roku 2008 kedy bola 3,9x (BK4) až 6,5x (BK2) vyššia než v BK1. Stimulácia TMN a nahromadenie exkrementov podmienili v roku košarovania 2006 ale najmä v roku 2007 akumuláciu minerálnych foriem N v pôde (tab. 2). V I. odbere vzoriek (24.4.) roku 2007 sme vo vrstve 0-100 mm a 100-200 mm plochy BK3 zistili 237,6 a 123,8 mg N.kg<sup>-1</sup> a v pôde plochy BK5 103,1 a 134,2 mg N takmer všetok v vo forme NH<sub>4</sub>-N. Prevaha amoniakálnej formy N je daná vyššou pôdnou aciditou pôdy než na stanovišti *Priečhod*, ktorá je ešte menej vhodná pre rozvoj nitrifikačných baktérií čo potvrdzujú aj nejednoznačné výsledky NIT (Tab. 1). V priemere sa najintenzívnejšou TMN vyznačuje plocha BK2 a najvyšším obsahom minerálnych foriem N plocha BK3 čo naznačuje vyšší stimulačný účinok ovčieho trusu na mineralizáciu N. Dosiahnuté výsledky na oboch

stanovištiach svedčia o tom, že košarovanie významným spôsobom ovplyvňuje procesy mineralizácie dusíka a prítomnosť minerálnych foriem N v pôde čím sa potvrdili závery nášho predošlého výskumu v praktických /3, 4/ i experimentálnych podmienkach /1, 5/.

Na *Donovaloch* sme v roku košarovania 2003 v dôsledku nadmerného zaťaženia košarovaných plôch (N2, N1) zvieratami a prakticky úplného zničenia pôvodného porastu stanovovali v pôde vysoké koncentrácie minerálnych foriem N. Tie v extrémoch dosiahli 261 mg N. kg<sup>-1</sup> až 324,5 mg N. kg<sup>-1</sup> za súčasného vzrastu intenzity celkovej mineralizácie N (TMN) a nitrifikácie (NIT), ktorá bola 12x až 15x vyššia než v kontrole. V nasledovných rokoch sa hladina minerálnych foriem N v dôsledku ich odčerpávania rýchlo a dobre zapojeným porastom výrazne znížila čo bolo sprevádzané aj poklesom TMN a NIT /3/. Výsledky TMN a NIT v rokoch 2006-2008 (tab. 1) potvrdzujú, že aj po troch až piatich rokoch po košarovaní sa pôda pod košarovanými plochami vyznačuje výrazne vyššími hodnotami TMN a NIT než kontrola. V porovnaní s ňou je TMN v poradí variantov N2, N1, S1 v roku 2006 vyššia o 82 %, 65 %, 46% a NIT o 96 %, 78 %, 60 %. Tu je potrebné upozorniť najmä na var. S1, ktorý ešte aj po 22 rokoch od dlhodobého stádlenia zvierat predstavuje silne zaburinenú plochu a pôda sa v závislosti od hydrotermických podmienok stále vyznačuje zvýšenou schopnosťou mineralizovať dusík. V ďalších rokoch sa reziduálny vplyv košarovania na var. N1 a N2 zrejme v dôsledku rozkladu pôdnej organickej hmoty a rastlinných zvyškov bohatých v dôsledku košarovania na dusík ešte viac zvýšil (Tab. 1). Zvýšená schopnosť pôdy mineralizovať a nitrifikovať dusík v týchto rokoch sa premietla aj do zvýšených koncentrácií momentálneho obsahu minerálnych foriem dusíka v pôde (Tab. 1).

Tab. 2: Priemerné hodnoty momentálneho obsahu NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N a ich úhrnného množstva (Σ) v mg. kg<sup>-1</sup> v pôde (  $\bar{x}$  za vrstvu odberu 0-100 mm, 100-200 mm, 200-300 mm)

| Stanovište          | Košarovaná plocha | Rok                |                    |       |                    |                    |      |                    |                    |      |                    |                    |      |
|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|
|                     |                   | 2006               |                    |       | 2007               |                    |      | 2008               |                    |      | 2009               |                    |      |
|                     |                   | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | Σ     | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | Σ    | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | Σ    | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | Σ    |
| Priechod            | PR1               | 1,6                | 2,9                | 4,6   | 1,1                | 4                  | 5,2  | 2,7                | 3,6                | 6,3  | 2,5                | 1,8                | 4,3  |
|                     | PR2               | 2,1                | 15,9               | 18    | 1,3                | 8,6                | 10   | 2,8                | 9,6                | 12,5 | 3,2                | 4,9                | 8,1  |
|                     | PR3               | 1,3                | 18,5               | 19,7  | 0,7                | 17,2               | 17,8 | 1                  | 20,1               | 21,2 | 1,8                | 12,4               | 14,2 |
|                     | PR4               | 2,7                | 26,4               | 29,2  | 0,9                | 17,7               | 18,6 | 1,5                | 16,4               | 17,9 | 2,5                | 8,7                | 11,2 |
|                     | PR5               | 16,4               | 112,1              | 128,4 | 1,6                | 18,6               | 20,2 | 1,8                | 19,6               | 21,4 | 2                  | 12,8               | 14,9 |
|                     | PR6               | -                  | -                  | -     | 1,9                | 6,3                | 8,2  | 2,9                | 4,6                | 7,5  | 4,3                | 1,9                | 6,2  |
| Šajbianska Bukovina | BK1               | 5,4                | 0,6                | 6     | 3,9                | 0,6                | 4,5  | 4,1                | 0,7                | 4,8  | 5,1                | 0,2                | 5,3  |
|                     | BK2               | 22,7               | 6,9                | 29,7  | 11                 | 7                  | 18   | 6,1                | 6,3                | 12,4 | 6,3                | 4,1                | 10,5 |
|                     | BK3               | 36,9               | 0,5                | 37,4  | 48,5               | 9,6                | 58,1 | 6,6                | 5,3                | 12   | 6,4                | 2,9                | 9,3  |
|                     | BK4               | 15,1               | 1                  | 16,2  | 5                  | 8,2                | 13,2 | 4,4                | 6,5                | 10,9 | 4,1                | 0,5                | 4,5  |
|                     | BK5               | 7,6                | 0,5                | 8,1   | 28,6               | 4,5                | 33,1 | 8,5                | 2,2                | 10,7 | 5,4                | 1,1                | 6,5  |
| Donovaly            | N3                | 3,6                | 4,7                | 8,3   | 4,7                | 2,6                | 7,3  | 4,5                | 0,4                | 4,9  | -                  | -                  | -    |
|                     | N2                | 3,5                | 10,5               | 14    | 1,7                | 14,1               | 15,8 | 2,8                | 8,2                | 11   | -                  | -                  | -    |
|                     | N1                | 3,2                | 7,3                | 10,6  | 1,5                | 13,3               | 14,8 | 2,2                | 10,8               | 13   | -                  | -                  | -    |
|                     | S1                | 5,2                | 10,1               | 15,3  | 1,4                | 15                 | 16,3 | 4,9                | 19,4               | 8,1  | -                  | -                  | -    |
| Hrochoť             | HN3               | 3,6                | 1,9                | 5,5   | 2,6                | 1,4                | 4    | 5,3                | 4,6                | 9,9  | 5,3                | 1,8                | 7,2  |
|                     | HN2               | 3,3                | 4                  | 7,3   | 2,1                | 10,6               | 12,8 | 4,1                | 5,8                | 9,9  | 6,7                | 8,9                | 15,6 |
|                     | HN1               | 3,6                | 8,5                | 12,1  | 1,6                | 7,6                | 9,1  | 5,7                | 7,1                | 12,7 | 3,8                | 8                  | 11,8 |

Na stanovišti *Hrochoť* bol vplyv košarovania jalovicami na obsah minerálneho dusíka a priebeh mineralizačných procesov v rokoch 2003 až 2005 podobný ako na stanovišti

Donovaly. Aj tu sme v roku košarovania stanovovali pomerne vysoké koncentrácie minerálnych foriem N, ktoré však boli výrazne nižšie než na Donovaloch /3/.

Z priemerných hodnôt TMN a NIT za roky 2006-2009 na stanovišti Hrochoť v tab. 1 vyplýva, že v prípade oboch procesov sa stále prejavuje stimulačný vplyv košarovania v roku 2003. V najväčšej miere je to vidno v roku 2006 a 2007. V roku 2006 bola TMN v pôde pod plochami HN2 a HN1 v porovnaní s kontrolou (HN3) 2,2x a 2,9x vyššia a NIT 2,6x a 3,4x vyššia. V roku 2007 boli hodnoty TMN a NIT v oboch košarovaných variantoch vyššie 2x až 3,3x. V ďalšom roku 2008 sa už reziduálny vplyv košarovania prejavuje v menšej miere. Nárast TMN a NIT v poslednom roku výskumu 2009 na ploche HN1 a HN2 možno vysvetliť opätovným košarovaním jalovicami, ku ktorému došlo v priebehu vegetačného obdobia. Vysoká schopnosť pôdy mineralizovať a nitrifikovať dusík na košarovaných plochách v rokoch 2006 až 2008 sa prejavila zvýšeným obsahom minerálnych foriem N v pôde s prevahou nitrátov. V roku 2009 došlo v termíne III. odberu pôdných vzoriek k opätovnému košarovaniu na ploche HN2 čo sa prejavilo prudkým nárastom momentálneho obsahu minerálneho dusíka v pôde. Koncentrácia vo vrstve 0-100 mm dosiahla hodnotu až 79,2 mg N. kg<sup>-1</sup> s približne 50 % podielom nitrátovej formy. V prípade stanovišťa Hrochoť je potrebné ešte uviesť že zvýšená schopnosť pôdy mineralizovať N je daná aj tým, že plochy trávneho porastu sa miestnym poľnohospodárskym podnikom dlhodobo systematicky košarujú v cykloch v cca 4-6 rokov čo podmienilo vzrast hodnôt Nt na 4,1 až 4,2 g. kg<sup>-1</sup>, Cox na 50,6 až 64,0 g. kg<sup>-1</sup> a pH na 4,08 až 4,22 oproti kontrolnému variantu, ktorého údaje sú uvedené v charakteristike stanovišťa.

#### LITERATÚRA

- /1/ Čunderlíková, Z., Polák, M., Ondrášek, L., Uhliarová, E.: Trvalo udržateľná produkcia lúk pomocou striedavého košarovania. Záverečná správa VÚTPHP, Banská Bystrica, 2002: 45 pp.
- /2/ Javoreková, S., Maková J., Novák, J., Hudecová, I., Selešiová, Z.: Vplyv košarovania na vybrané biologické parametre pôdy pasienkov v národných parkoch Slovenska. [Influence of fold-grazing on the selected biological parameters of soil quality of pastures in national parks of Slovakia]. In Aktuálne problémy riešené v agrokomplexe [elektronický zdroj]: zborník recenzovaných príspevkov z XII. ročníka medzinárodného vedeckého seminára, 5.december 2008, Nitra SPU, 2008: 13-19.
- /3/ Ondrášek, L., Balcar, J., Martincová, J., Jančová L.: Possibilities of environmental contamination by mineral nitrogen forms under sheep and cattle folding of grassland. In: Toxic substances in environment, III. International Scientific Conference, Krakow, 7 - 8. 9. 2004: 647-655.
- /4/ Ondrášek, L., Krajčovič, V., Seifert, G.: Environment pollution by mineral nitrogen in the zones of hygienic protection of drinking water resources under rough grazing and folding with sheep. Zeshyty problemowe popstepów nauk rolniczych, 2000 : 565-572.
- /5/ Ondrášek, L., Martincová, J.: Vplyv rôznej intenzity košarovania na biologické a chemické vlastnosti pôdy vo vzťahu k produkčným a kvalitatívnym ukazovateľom trávneho porastu. In: Ekológia trávneho porastu VII. Zborník príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie pri príležitosti 45. výročia vzniku VÚTPHP a životného jubilea prof. Ing. Vladimíra Krajčoviča. SCPV - VÚTPHP Banská Bystrica. 28-30. november 2007: 381-388.
- /6/ Opitz von Boberfeld, W. : Grünlandlehre. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1994: 336 pp.
- /7/ Selešiová, Z., Maková J., Javoreková, S., Hudecová, I.: Sledovanie zmien mikrobiologickej aktivity degradovaných vysokohorských pôd v národných parkoch Slovenska. Acta fytotechnica et zootechnica – Mimoriadne číslo Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2009: 601-609.

## **VZTAH MEZI LOKÁLNÍMI KLIMATICKÝMI PODMÍNKAMI A RŮSTOVÝMI CHARAKTERISTIKAMI VYBRANÝCH PLEVELŮ V LETECH 2010 A 2011**

### ***RELATIONSHIP BETWEEN LOCAL CLIMATE CONDITIONS AND THE GROWTH CHARACTERISTICS OF SELECTED WEEDS IN YEARS 2010 AND 2011***

Jitka Satrapová, Vera Potop, Veronika Venclová, Josef Soukup

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129,  
165 21 Praha 6 – Suchbátka, satrapovaj@af.czu.cz

#### ***Summary***

The paper deals assessment of dependence of the growth weeds on the meteorological conditions. This paper has connected daily meteorological data recorded in network weather stations from the Czech Hydrometeorological Institute and weed experimental data of species with different photosynthesis type (C3, C4). Vegetation period of weeds in 2010 and 2011 were wet. The negative correlation between the height of weeds and daily minimum temperature was observed on May and July in 2010 ( $r$  -0.30 to -0.83). In 2011, a significant negative correlation was found between an extreme air temperatures and height of weeds on July at all weed species and at all localities.

*Key words: Meteorological extreme, weed, tropical days plants*

#### ***Souhrn***

Tento článek pojednává o odhadu závislosti růstu významných plevelů na povětrnostních podmínkách. Jsou zde spojena denní meteorologická data zaznamenaná v síti meteorologických stanic z českého Hydrometeorologického ústavu a experimentální data významných plevelných druhů s různým fotosyntetickým typem (C3, C4). Vegetační období plevelů v roce 2010 a 2011 bylo vlhké. Negativní korelace mezi výškou plevelů a denní minimální teplotou byla zjištěna v květnu a červenci v roce 2010 ( $r$  -0,30 až -0,83). V roce 2011 byla nalezena negativní korelace mezi extrémní teplotou vzduchu a výškou plevelů v červenci u všech plevelných druhů na všech lokalitách.

*Klíčová slova: Meteorologické extrémy, plevele, tropické dny*

## **ÚVOD**

Mnoho výzkumných týmů na světě se zabývá vlivem probíhající či očekávané klimatické změny na rozšíření a škodlivost plevelů a změny v postupech ochrany proti nim. Změny koncentrace CO<sub>2</sub>, teploty a dostupnosti vody ovlivňují nejen růst plodin, ale i plevelů. Pro poměr plevelů a kulturních rostlin je zvláště důležitá rozdílná reakce C3 a C4 rostlin na koncentraci CO<sub>2</sub>.

V rámci pokusu byly vybrány 4 významné plevelné druhy. Ze skupiny C3 merlík bílý (*Chenopodium album* L., CHEAL) jako pozdně jarní plevel a oves hluchý (*Avena fatua* L., AVEFA) patří do skupiny časně jarních plevelů. Z C4 plevelů byla zastoupena ježatka kuří

noha (*Echinochloa crus-galli* L., ECHCG) a laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus* L., AMARE), oba pozdně jarní plevely. Teplotní minimum pro C3 rostliny se pohybuje kolem 0 °C, u některých druhů probíhá fotosyntéza až do teplot – 6 °C až – 10 °C. Teplotní optimum je 15 až 25 °C, maximum pak kolem 30 °C /3/. Pro C4 rostliny je optimum teplot v rozmezí 25 až 40 °C. Při teplotě pod 10 °C velmi rychle klesá rychlost fotosyntézy. C4 rostliny jsou lépe adaptovány na intenzivnější teplotní a světelné podmínky a se schopností uzavírat průduchy během denní periody v odezvě na vysokou teplotu a evaporaci dokážou efektivněji využít vodu /2/.

Cílem navrhované práce je získat údaje o růstových charakteristikách vybraných plevelů pocházejících z obou skupin C3 a C4 v závislosti na meteorologických podmínkách.

## MATERIÁL A METODA

V roce 2009 se uskutečnil na Jižní Moravě sběr semen plevelů, která byla použita v pokusech v roce 2010 a 2011. Semena byla vyseta na několika lokalitách. Jednalo se o Doksany – okres Litoměřice (158 m n. m.), Břežany I – okres Kolín (240 m n. m.), Praha – Suchdol (285 m n. m.), Hořice – okres Pelhřimov (468 m n. m.), Speřice – okres Pelhřimov (560 m n. m.), Dobrá Voda – okres Pelhřimov (624 m n. m.). Plocha byla vybrána vždy na poli s kukuřicí. Každý plevelný druh byl vyset na plochu o velikosti 1m<sup>2</sup> vždy ve čtyřech opakováních. Tyto parcelky byly po celou dobu pokusu udržovány v bezplevelném stavu, stejně jako nejbližší okolí. Zároveň byl počet sledovaných rostlin postupně snižován, tak aby nedocházelo k vzájemné konkurenci mezi jedinci. Vždy jednou za 14 dní byla zaznamenávána výška rostlin. Pokus byl ukončen v době fyziologické zralosti. Na konci vegetace plevelů byla stanovena hmotnost suché nadzemní biomasy.

Aby bylo možné vyhodnotit dopad počasí na růstové charakteristiky plevelů v průběhu různých vývojových fází, byla hodnocení založena na následujícím přístupu: 1) hodnocení teplotně-srážkových poměrů ve sledovaných lokalitách; 2) k posouzení závislosti výšky plevelů na denních teplotních a srážkových charakteristikách bylo použito vícenásobné regresní analýzy.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Datový soubor plevelů byl použit ze 4 experimentálních lokalit v nadmořské výšce od 158 do 624 m n.m. Dle dlouhodobého normálu je průměrná roční teplota mezi 7,2 a 8,2 °C a průměrný roční úhrn srážek je do 590 mm ve Středočeském kraji a do 644 mm na Vysočině. Dle odchylky teploty od dlouhodobého normálu byl rok 2010 normální ( $\sigma = +0.3$  °C) s nejvyšší pozitivní odchylkou ( $\sigma = +3.1$  °C) v červenci a nejvyšší zápornou odchylkou ( $\sigma = -4.1$  °C) v prosinci. Průběhu celého období byly v porovnání s dlouhodobým průměrem zaznamenány normální teplotní podmínky na jaře ( $\sigma = -0.7$  a  $-0.9$  °C), po kterém následuje mimořádně teplý a vlhký červenec a velmi vlhký srpen (Tabulka 1). Abnormálně nízké teploty byly zaznamenány v září a říjnu (do  $\sigma = -2.0$  °C). Dle průměrného úhrnu srážek v procentech dlouhodobého normálu byl rok 2010 vlhký (127% normálu) se suchým měsícem říjnem (27% normálu) a velmi vlhkým srpnem (207% normálu). Avšak, studený a silně vlhký byl červenec v roce 2011, což se projevilo nepříznivě na všech sledovaných druzích.

Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu ( $r$ ) jsme získali závislost růstu vybraných plevelů pocházejících z C3 a C4 skupin na denních teplotních a srážkových charakteristikách. Slabé a střední korelace byly zjištěny mezi výškou plevelů a úhrnem srážek v roce 2010 na všech lokalitách. Negativní korelace mezi výškou plevelů a denní minimální teplotou byla zjištěna v květnu a červenci, a to jak ve Středočeském kraji ( $r$  - 0,30 do -0,83), tak i na Vysočině ( $r$  -0,36 do -0,77). Silná kladná korelace byla nalezena v červnu jak pro denní minimum, tak i pro denní maximum v obou krajích ( $r$  0,67 až 0,88). Velmi silná kladná korelace mezi druhy plevelů AMARE, AVEFA, CHEAL a denní maximální teplotou vzduchu byla zjištěna v červnu na Vysočině.

Tab. 1: Statistický model vlivu extrémních teplot vzduchu na výšku plevelů

| Rovnice, $Y = a_0 + b_1T + b_2T + b_3T + b_4T \dots\dots$                                                   | $R^2$ , % | $p$  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|
| <b>Středočeský kraj - 2010</b>                                                                              |           |      |
| AMARE = $64,2 - 6,9 \cdot T_{\min 5} + 8,8 \cdot T_{\min 6} - 3,1 \cdot T_{\min 7}$                         | 70,4      | 0,02 |
| AVEFA = $252,4 - 11,3 \cdot T_{\min 5} - 3,6 \cdot T_{\max 7}$                                              | 75,9      | 0,05 |
| CHEAL = $47,9 + 3,1 \cdot T_{\max 6} + 9,7 \cdot T_{\min 6} - 5,5 \cdot T_{\min 7}$                         | 94,8      | 0,00 |
| ECHCG = $50,2 - 2,4 \cdot T_{\min 5} + 2,4 \cdot T_{\min 6} - 2,3 \cdot T_{\min 7}$                         | 93,4      | 0,00 |
| <b>kraj Vysočina - 2010</b>                                                                                 |           |      |
| AMARE = $34,8 - 3,9 \cdot T_{\min 5} + 6,5 \cdot T_{\min 6} - 3,0 \cdot T_{\min 7}$                         | 83,8      | 0,00 |
| AVEFA = $381,3 - 14,1 \cdot T_{\min 5} - 7,9 \cdot T_{\max 7}$                                              | 74,1      | 0,05 |
| CHEAL = $45,6 + 5,9 \cdot T_{\max 6} + 4,3 \cdot T_{\min 6} - 3,9 \cdot T_{\min 7}$                         | 97,3      | 0,00 |
| ECHCG = $47,3 + 0,18 \cdot T_{\min 5} + 6,8 \cdot T_{\min 6} - 7,2 \cdot T_{\min 7}$                        | 83,6      | 0,05 |
| <b>Středočeský kraj - 2011</b>                                                                              |           |      |
| AMARE = $-91,42 + 2,3 \cdot T_{\max 6} + 4,9 \cdot T_{\max 7} - 1,5 \cdot T_{\min 7}$                       | 82,1      | 0,00 |
| AVEFA = $252,4 - 10,1 \cdot T_{\min 7} - 16,7 \cdot T_{\max 7}$                                             | 75,9      | 0,05 |
| CHEAL = $47,9 + 3,1 \cdot T_{\max 6} + 9,7 \cdot T_{\min 6} - 5,5 \cdot T_{\min 7}$                         | 94,8      | 0,00 |
| ECHCG = $50,2 - 2,4 \cdot T_{\min 5} + 2,4 \cdot T_{\min 6} - 2,3 \cdot T_{\min 7}$                         | 93,4      | 0,00 |
| <b>kraj Vysočina - 2011</b>                                                                                 |           |      |
| AMARE = $-124,44 + 7,1 \cdot T_{\max 5} + 7,6 \cdot T_{\max 8} - 3,9 \cdot T_{\max 7}$                      | 84,3      | 0,00 |
| AVEFA = $-287,0 + 10,5 \cdot T_{\max 5} - 23,0 \cdot T_{\min 7}$                                            | 59,7      | 0,04 |
| CHEAL = $-268,7 + 11,9 \cdot T_{\max 5} + 8,4 \cdot T_{\max 8}$                                             | 78,4      | 0,00 |
| ECHCG = $34,2 + 9,2 \cdot T_{\max 9} - 8,9 \cdot T_{\min 7} + 8,3 \cdot T_{\min 8}$                         | 82,5      | 0,01 |
| <b>Doksany - 2011</b>                                                                                       |           |      |
| AMARE = $-1,1 + 5,2 \cdot T_{\max 5} - 2,8 \cdot T_{\max 10} - 2,2 \cdot T_{\min 5} + 1,9 \cdot T_{\min 8}$ | 90,3      | 0,00 |
| AVEFA = $-273,4 + 6,3 \cdot T_{\max 6} + 6,8 \cdot T_{\min 7}$                                              | 92,4      | 0,04 |
| CHEAL = $-58,4 + 7,8 \cdot T_{\max 5} + 7,4 \cdot T_{\max 6} - 7,7 \cdot T_{\min 9}$                        | 87,1      | 0,00 |

$R^2$  – koeficient determinace,  $p$  – hladina významnosti modelu, dolní index:  $T_i$  – denní maximální a minimální teplota vzduchu, včetně měsíce.

V roce 2011 byla střední a silná korelace mezi výškou plevelů a úhrnem srážek zjištěna v období od srpna do října ( $r$  0,46 až 0,76) na lokalitě Praha Suchdol a Doksany. Na Vysočině byla silná kladná korelace u AVEFA ( $r$  0,74) a střední kladná korelace u ECHCG ( $r$  0,40) v červnu. Negativní střední korelace byla zjištěna v červenci u všech sledovaných druhů ve Středočeském kraji a na Vysočině ( $r$  -0,38 až -0,57), naopak v Doksanech byla korelace kladná. Silná korela mezi minimální teplotou a výškou plevelů byla nalezena u druhu CHEAL v červenci ( $r$  -0,71) ve Středočeském kraji, srpnu na Vysočině ( $r$  0,75) a v květnu v Doksanech ( $r$  0,61). Negativní korelace byla nalezena v květnu u druhu AVEFA ve

Středočeském kraji ( $r = -0,68$ ). Negativní korelace mezi extrémní teplotou vzduchu a výškou plevelů byla nalezena v červenci u všech plevelných druhů na všech lokalitách.

Prostřednictvím vícenásobné regresní analýzy byl statisticky zjištěn vliv teplotně-srážkových poměrů na růst a vývoj významných plevelů. Dále pomocí postupné regrese (tzv. Forward selection) byly z modelu vyloučeny neprůkazné proměnné. Nízké minimální denní teploty v květnu 2010 a velké výkyvy denních minimálních teplot v červenci byly limitujícím faktorem pro výšku plevelů laskavce ohnutého a ježatky kuří nohy. Naopak, negativní vliv na růst plevelů typu C3 jako merlík bílý a oves hluchý měly denní maximální vysoké teploty. Jak je patrné z tabulky 1, i pro plevele ze skupiny C3 nízké denní minimální teploty v květnu působily negativně na jejich růst v roce 2010. V roce 2011 se toto projeвило v červenci.

Přestože regresní modely naznačují, že extrémní teplotní charakteristiky mají velmi silný statisticky významný vliv, jsou zde i další faktory, které mají na růst rostlin významný vliv. To mohou být především teplota půdy, půdní vlhkost a globální záření /7/.

Rostliny ze skupin C3 i C4 jsou schopny růst ve sledovaných nadmořských výškách. Vybrané druhy ze skupiny C4 pozitivně reagují na vyšší teplotu v nižších nadmořských výškách, protože jak uvádí /5/ C4 rostliny lépe snáší vyšší teploty, u C3 rostlin je tomu naopak. Při probíhajících změnách klimatu lze očekávat větší rozšíření C4 plevelů ve vyšších nadmořských výškách ČR. V tom případě můžeme předpokládat jejich vyšší konkurenční schopnost v porostu kulturních plodin /4,1/.

Podle scénářů změny klimatu pro území ČR lze očekávat celoroční zvýšení teploty a to především v letních měsících. Naopak úhrn srážek se bude snižovat v letních měsících a růst v zimní období /8/. Během posledních 20 let se průměrný počet tropických dnů v Polabí v letní sezóně zvýšil více než 1,5krát /6/. Rostoucí počet tropických dnů je doprovázen zvýšením maximálních teplot v průběhu celého období. V období 1991-2009 se délka letních horkých vln v České republice (pro nadmořskou výšku 200-300 m) zvýšila 1,3krát. Je zřejmé, že v průběhu posledních dvou desetiletí se celkový počet období veder v Polabí výrazně zvýšil v důsledku proměnlivosti klimatu.

## LITERATURA

- /1/ Bláha, L., Chodová, D., Zieglerová, J.: Úvodní – možná trochu provokativní slovo. In: Vliv biotických a abiotických stresorů na vlastnosti rostlin. Sborník příspěvků. VÚRV Praha – Ruzyně. 2005: 383 s.
- /2/ Gliessman, S. R.: Agroecology. The ecology of Sustainable Food Systems. CCR Press, 2007: 384 s.
- /3/ Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J., et al.: Fyziologie rostlin. Academia Praha, 2003: 484 s.
- /4/ Karamanos, A. J.: Possible effects of climate change on crop-weed interactions. In: 2nd International Conference on “Novel and sustainable weed management in arid and semi – arid agro – ecosystems”, Proceedings, 7 – 10 September 2009, Santorini, Greece. 2009: 11.
- /5/ Nátr, L.: Země jako skleník. Proč se bát CO<sub>2</sub>? Academia. Praha. 2006: 142 s.
- /6/ Potop V.: Temporal variability of daily climate extremes of temperature and precipitation in the middle Polabí (Elbeland) lowland region. Scientia Agriculturae Bohemica, 41. 2010:140-148.
- /7/ Satrapová, J., Potop, V., Venclová, V., Soukup, J.: Relationship between local climate conditions and the growth characteristics of selected weeds. In: Bioclimate 2012. Bioclimatology of Ecosystems. International Scientific Conference. 11. 2012. Ústí nad Labem. 2012: 19-30.
- /8/ Žalud Z.: Změna klimatu a české zemědělství-dopady a adaptace. Folia Universitas Agriculturae et Silviculturae Mendeliana Brunensis, Brno, Roč. II, 2010: 154.

## Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru MSM6046070901.

## PODMÍNKY PRO PŘEZIMOVÁNÍ PLODIN V DLOUHODOBÉM HODNOCENÍ

### *LONG-TERM EVALUATION OF FIELD CROPS OVERWINTERING CONDITIONS*

Hana Středová<sup>1</sup>, Tomáš Středa<sup>2</sup>, Jaroslav Rožnovský<sup>3</sup>

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, <sup>1</sup>Ústav aplikované a krajinné ekologie, <sup>2</sup>Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, <sup>3</sup>Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Zemědělská 1, 613 00 Brno, hana.stredova@mendelu.cz

#### *Summary*

An incidence of snowless frost period is an important stressor for winter crops. The crop microclimatic monitoring was used for (i) to quantify the thermal insulation effect of snow cover during severe frosts; (ii) long-term trend of precipitation in the Czech Republic (1901-1950 versus 1961-2010) during the cold period was evaluated; (iii) the trend of snow cover occurrence using data of CHMI stations in the period 1961-2011 was also evaluated. Air temperature under the 10 cm snow layer was up to 17°C higher than above the snow cover. Nationwide trend in total precipitation in cold period (and hereby possible influence on the snow cover parameters) cannot be unequivocally defined. Also a long-term trend in number of snowless days cannot be clearly defined. The risks of snowless frost period should be evaluated at the local level.

*Key words: abiotic stress, overwintering, precipitation, snow, snow cover plants*

#### *Souhrn*

Pro ozimé plodiny je významným stresovým faktorem výskyt mrazových období bez sněhové pokrývky. S využitím porostního monitoringu byl (i) kvantifikován termoizolační efekt sněhové pokrývky během tuhých mrazů. Hodnocen byl (ii) dlouhodobý trend (1901–1950 versus 1961–2010) srážkových úhrnů v ČR v chladném období roku. S využitím údajů o stavu půdy na stanicích ČHMÚ v období 1961–2011 byl (iii) hodnocen trend výskytu sněhové pokrývky v ČR. Teplota vzduchu pod 10 cm sněhovou vrstvou byla až o 17 °C vyšší než nad sněhovou pokrývkou. Nelze vymezit jednoznačné celoplošné tendence srážkových úhrnů (a tím případný vliv na parametry sněhové pokrývky) v chladné části roku. Také celoplošný dlouhodobý trend vývoje počtu dnů bez sněhové pokrývky tak v ČR není jednoznačný a definovatelný. Pro hodnocení rizik výskytu holomrazů je tak nutné hodnocení na lokální úrovni.

*Klíčová slova: abiotický stres, přezimování, srážky, sníh, sněhová pokrývka*

## ÚVOD

/9/ uvádějí v souvislosti se změnou klimatu jako možné riziko pro ozimé plodiny případné snížení srážkových úhrnů v zimním období a tím úbytek sněhové pokrývky. /7/ udávají pro riziko poškození porostu v zimním období v jaké růstové fázi se vyskytují nízké teploty, zda jsou doprovázeny silným větrem a malou nebo žádnou sněhovou pokrývkou. /2/



analýzou padesátileté řady dat zjistili v ČR úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou, zejména v níže položených stanicích. Redukce počtu dnů se sněhovou pokrývkou je patrná od poloviny 80. let 20. století. Výskyt holomrazů hodnotil /1/ na čtyřech jihomoravských stanicích v období 1961–2008. Kritérii pro vymezení dne s holomrazem byla úroveň minimální denní teploty vzduchu ve výšce 2 m a výška sněhové pokrývky. Na výše položených stanicích byl zjištěn růst počtu holomrazových dnů. /6/ hodnotili podmínky pro přezimování plodin během období 1961–1990; 1981–2010 a 1991–2010. Zřejmý byl pokles počtu dnů s holomrazy v období blíže současnosti. Z agrometeorologického hlediska mají podstatný význam porostní měření s modifikovanými postupy monitoringu pro vysokou vypovídací hodnotu v rostlinné produkci. Analýzou sněhové pokrývky v souvislosti s vlivem na přízemní teplotu a přezimováním polních plodin se v porostních podmínkách zabývali /5/. Zaznamenali holomrazy s přízemními minimy s absolutní hodnotou  $-23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a mezidenní teplotní amplitudy v extrémech až  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izolační schopnost sněhové pokrývky vysoké 15 cm způsobovala korekci nízkých teplot až o  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Cílem práce je vyhodnocení trendu výskytu sněhuprostých epizod na základě dlouhodobého monitoringu stavů půdy v chladném období roku. Vyhodnocení trendu potenciálních rizik, souvisejících s absencí sněhové pokrývky na přezimování ozimů.

## MATERIÁL A METODA

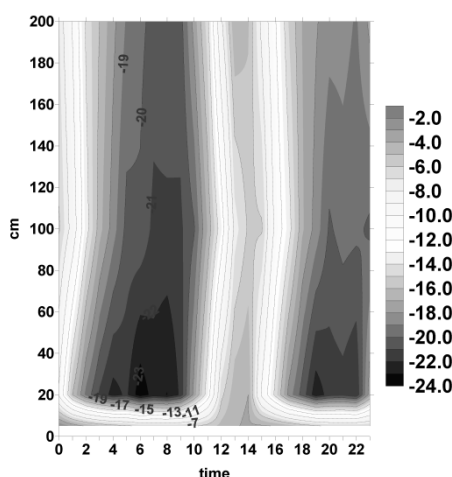
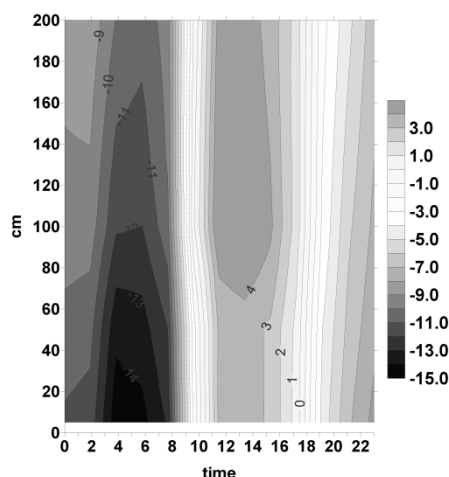
K demonstraci vertikální stratifikace teplot vzduchu v porostu pšenice ozimé při absenci a přítomnosti sněhové pokrývky byla použita data z pozemku v kukuřičné zemědělské výrobní oblasti v agroklimaticky teplé makrooblasti, převážně teplé oblasti, podoblasti převážně suché, okrsku s převážně mírnými zimami /3/. K měření teploty vzduchu v porostu pšenice ozimé byly použity elektronické registrátory HOBO (Onset Computer, USA) s intervalem měření 15 minut. Čidla v radiačních štítech byla v letech 2005–2011 umístěna do výšky 5 cm nad povrch půdy (přízemní výška), 50 cm, 100 cm a 200 cm nad povrch půdy. Při sněžení a výskytu sněhové pokrývky bylo přízemní čidlo ponecháno ve výšce 5 cm nad zemí a měřilo tak teplotu pod sněhem. Grafické vyjádření stratifikace teplot nad povrchem půdy ve vybraných reprezentativních dnech bylo provedeno pomocí programu Surfer ver. 8.03 (Golden Software, Inc. 2003) interpolační metodou triangulace s lineární interpolací.

Na přítomnost sněhové pokrývky v průběhu chladného období roku mají primární vliv srážkové úhrny. Dlouhodobý trend srážkových úhrnů během chladného období roku (říjen až březen) byl hodnocen jako rozdíl mezi průměrnou hodnotou v období 1901–1950 a průměrnou hodnotou v období 1961–2010 (hodnota pro 1901–1950 odčítána od hodnoty 1961–2010). Použita byla průměrná měsíční data o srážkách ze 48 stanic ČHMÚ.

Trend jednoho z potenciálních rizik vymrznutí ozimů – absence sněhové pokrývky v chladné části roku, byl hodnocen na základě pozorovaného jevu „stav půdy“. Využity byly údaje z 84 stanic ČHMÚ z celého území ČR za období listopad až březen 1961–2011. Pozorování je prováděno na pozemku stanice ČHMÚ a jejím nejbližším okolí v pozorovacích termínech 7, 14 a 21 hod místního středního slunečního času (MSSČ). Pro hodnocení byly využity stavy půdy, označené kódy 0 (povrch půdy suchý), 3 (povrch půdy holý a zmrzlý), 4 (půda pokryta náledím nebo ledovkou, avšak bez sněhu nebo tajícího sněhu) a 8 (suchý sypký sníh pokrývá půdu více než z poloviny, nikoliv však úplně), zjištěné v 7:00 MSSČ.

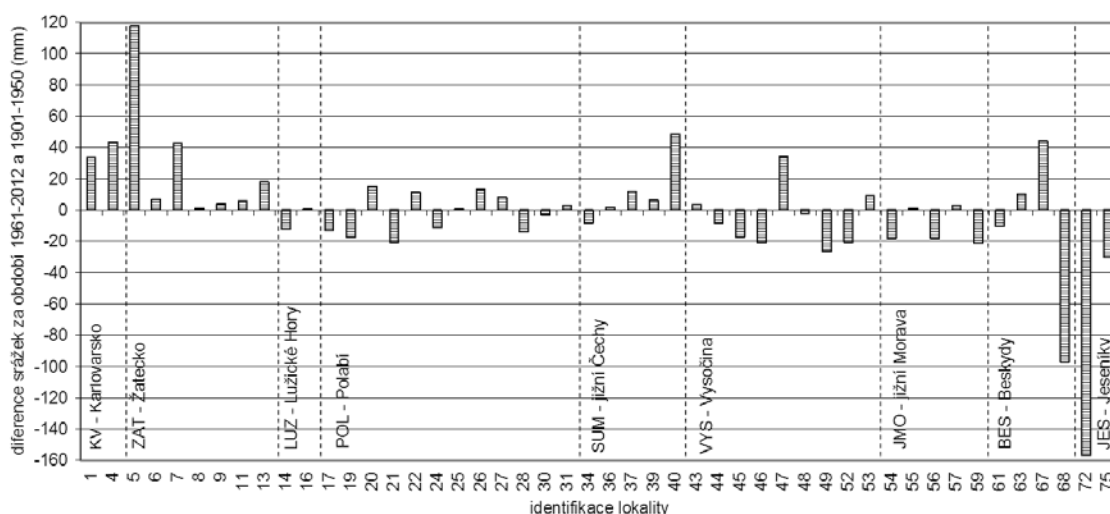
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Podrobná zobrazení vertikálního zvrstvení teplot během typických, výrazně odlišných dnů (bez a s vlivem sněhové pokrývky) jsou uvedena na Obr. 1 a 2. Kromě difference ve vertikálním zvrstvení teplot až 5 °C při srovnání přízemní teploty a teploty ve 2 m výšce (během dne bez sněhové pokrývky), je zřejmý výrazný termoizolační efekt sněhové pokrývky (Obr. 2). Teplota vzduchu pod 10 cm sněhovou vrstvou je až o 17 °C vyšší než nad sněhovou pokrývkou. Souvislost rizika vymrzání a přítomností, respektive absencí sněhové pokrývky, je tak evidentní.



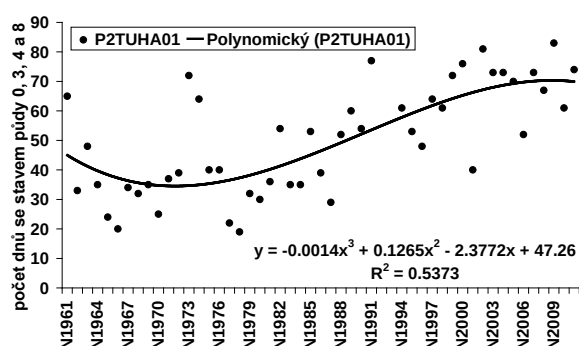
Obr. 1: Teplotní zvrstvení při holomrazu    Obr. 2: Teplotní zvrstvení při sněhové pokrývce

/8/ od roku 2000 zjistili pokles všech hodnot charakteristik sněhové pokrývky, což může mít výrazný vliv na přezimování ozimých plodin. Obr. 3 uvádí difference srážek v chladném období roku na 48 stanicích ČHMÚ v obdobích 1901–1950 a 1961–2010. Na základě uvedeného výstupu nelze jednoznačně vymezit tendence srážkových úhrnů (a tím případný vliv na parametry sněhové pokrývky) v chladné části roku. Vyskytují se jak poměrně významné nárůsty srážek, tak i signifikantní poklesy srážkových úhrnů. Jednoznačný trend není možné vysledovat ani při zohlednění nadmořské výšky.

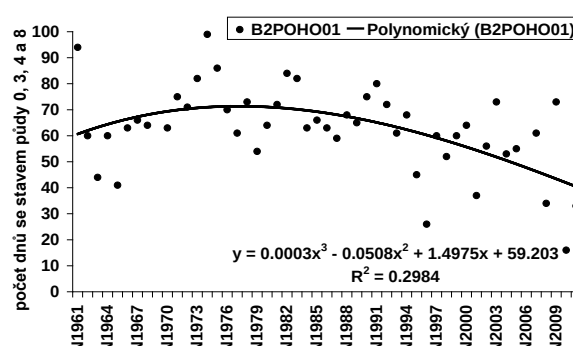


Obr. 3: Difference srážkových úhrnů v chladném období roku mezi obdobími 1961–2010 a 1901–1950

V další fázi analýzy byla pro 84 stanic do grafu uvedena data o počtu dnů se stavem půdy 0, 3, 4 nebo 8 (osa Y) ve všech hodnocených chladných obdobích (1961/1962, 1962/1963 atd. – osa X). Trendovou analýzou (proložením polynomem 3. stupně) byl zjištěn trend počtu potenciálně rizikových dnů (dnů bez sněhové pokrývky) pro každou hodnocenou stanic. V 11 případech byl zjištěn jednoznačný rostoucí ( $r^2 = 0,2$  nebo vyšší) trend, v 18 případech byl zjištěn spíše rostoucí ( $r^2$  do 0,2) trend, v 33 případech měl trend nejednoznačný průběh, v 7 případech byl zaznamenán trend spíše klesající ( $r^2$  do 0,2) a v 15 případech byl trend jednoznačně klesající ( $r^2 = 0,2$  nebo vyšší). Dlouhodobý trend vývoje počtu dnů bez sněhové pokrývky tak v ČR není jednoznačný a definovatelný. Zřejmý je ale posun, nastávající v posledním dvacetiletí, a to jak u vzestupné tendence (Obr. 4, stanice Tuhaň, okres Mělník, 160 m n. m.), tak i u tendence klesající (Obr. 5, stanice Pohořelice, okres Brno-venkov, 180 m n. m.).



Obr. 4: Počty dnů beze sněhu, Tuhaň



Obr. 5: Počty dnů beze sněhu, Pohořelice

## LITERATURA

- /1/ Hora, P. Výskyt holomrazů na jižní Moravě v období 1961–2008. In Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině, Mikulov, 9.–11.9.2008, Praha, ČHMÚ, 2008: 14 s.
- /2/ Kliment, Z., Matoušková, M., Ledvinka, O., Královce, V. Hodnocení trendů v hydro-klimatických řadách na příkladu vybraných horských povodí. In Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí, Skalní mlýn, ČHMÚ, 2011: 11 s.
- /3/ Kurpelová, M., Coufal, L., Čulík, J. Agroklimatické podmínky ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Bratislava, 1975: 270 s.
- /4/ Středa, T., Mužíková, B., Rožnovský, J. Podmínky pro přezimování pšenice ozimé v kukuřičné výrobní oblasti. In Transport vody, chemikálií a energie v systému půda-rastlina-atmosféra, Bratislava, Ústav hydrológie SAV, 2007: 626-634.
- /5/ Středa, T., Rožnovský, J. Vliv průběhu počasí na přezimování a výnos řepky ozimé. In Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, Praha, 21.3.–22.3.2007, VÚRV Praha–Ruzyně a ČZU v Praze, Praha, 2007: 127-132.
- /6/ Středa, T., Středová, H., Rožnovský, J. Podmínky pro přezimování polních plodin v kontextu vývoje klimatu. Úroda, vědecká příloha, LIX, 10, 2011: 582-589.
- /7/ Špunar, J., Prášil, I.T. Přezimování obilovin a jeho hodnocení, Úroda, 42, 3, 1994: 16-17.
- /8/ Tolasz, R. Atlas podnebí Česka. Praha, Olomouc, Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007: 255 s.
- /9/ Veisz, O., Harnos, N., Szunics, L., Tischner, T. Overwintering of winter cereals in Hungary in the case of global warming. Euphytica, 92, 1996: 249-253.

## Poděkování

Práce vznikla s podporou projektu NAZV QJ1220054 „Vliv změny klimatických faktorů na rozvoj procesů větrné eroze, koncepční řešení opatřeními pozemkových úprav“.

## **PŮSOBENÍ EXOGENNÍ KYSELINY ABSCISOVÉ A BRASSINOSTEROIDŮ NA PARAMETRY VÝMĚNY PLYNŮ PŠENICE V PODMÍNKÁCH ZASOLENÍ**

### ***INFLUENCE OF EXOGENOUS TREATMENT OF ABSCISIC ACID AND BRASSINOSTEROIDS ON GAS EXCHANGE PARAMETERS IN CONDITION OF SALT STRESS BY WHEAT***

Ivana Šafránková, Jana Krutilová

Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, katedra biologie, Náměstí Svobody 301, 500 03  
Hradec Králové 3, Česká republika, e-mail: ivana.safrankova@uhk.cz

#### ***Summary***

The aim of the research was to study a physiological mechanisms linking the reactions to water stress and a possible influence of abscisic acid and 24-epibrassinolids. Plants of common wheat (*Triticum aestivum*) had been chosen for the experiment. The plants were cultivated in four variants: control, condition of 150 mM NaCl, condition of 150 mM NaCl and treatment of 100  $\mu$ M abscisic acid, condition of 150 mM NaCl and treatment of 0,001  $\mu$ M 24-epibrassinolids. Phytohormons were applied after the salinity stress induction. During the salinity stress the gas exchange parameters were measured: photosynthesis ( $P_N$ ) and water use efficiency (WUE). The results of the experiment show that the salinity significantly decreased  $P_N$ . Application of 24-epibrassinolids better supported WUE.

*Key words: wheat, Triticum aestivum L., salinity, photosynthesis, water use efficiency, abscisic acid, brassinosteroids*

#### ***Souhrn***

Výzkum byl zaměřen na fyziologické mechanismy podmiňující reakce k zasolení a možného ovlivnění aplikací kyseliny abscisové a 24-epibrassinolidu. Pro experiment byl vybrán český genotyp pšenice jarní 'Sirael'. Rostliny byly rozděleny do 4 variant: kontrola, sucho, zasolení + aplikace 100  $\mu$ M ABA, zasolení + aplikace 0,001  $\mu$ M 24-epibrassinolidu. Po dobu stresu byly gazometricky měřeny parametry výměny plynů (fotosyntéza, efektivita využití vody). Z výsledků vyplývá, že při zasolení došlo k významnému snížení  $P_N$ . Aplikace 24-epibrassinolidu významněji lépe podpořila efektivní využití vody.

*Klíčová slova: pšenice, Triticum aestivum L., zasolení, fotosyntéza, efektivita využití vody, kyselina abscisová, brassinosteroidy*

## **ÚVOD**

Zasolení a sucho patří mezi limitující faktory, které způsobují významné omezení rostlinné produkce /e.g. 1, 2/. Zasolení ovlivňuje rostlinnou fyziologii přes buněčnou úroveň, iontové a osmotické změny až po celou rostlinu včetně fotosyntézy /3/. Na rostlinách se může projevat i vadnutím listů, jejich stárnutím a opadem /4/. Aplikací přirozených či syntetických hormonů je možné eliminovat působení zasolení a v konečném důsledku tak zvýšit výnos zemědělských plodin /5/.

Syntéza kyseliny abscisové (ABA) je jedním z evolučních mechanismů, které umožňují rostlinám přizpůsobit se podmínkám prostředí. ABA vede k mnoha změnám ve vývoji, fyziologii a růstu, je považována za signál k iniciaci zapojení adaptačních procesů k zasolení a jiným stresům prostředí /6, 7, 8/. Hlavní vývojové a morfologické účinky ABA spočívají ve snížení úbytku vody transpirací a současně zvýšení příjmu vody kořeny, mění relativní rychlost růstu různých částí rostliny /9, 10/. Při nárůstu obsahu ABA v kořeni se v prýtu zvýší obsah sušiny, je utlumen vývin listové plochy a podpořen růst kořene /11, 12/.

Brassinosteroidy (BR) jsou steroidní regulátory, hrající klíčovou roli v celém vývoji rostlin /13/, jsou spojovány s potlačením odezvy rostliny na stres, působí zejména jako pozitivní regulátory jejich růstu a též jako látky schopné ovlivňovat adaptaci rostliny na stres /14, 15/, zvyšují endogenní koncentraci ABA, regulují vývoj a funkci průduchů při abiotických a biotických stresech /13, 16, 17/.

Cílem práce bylo získat nové poznatky na úrovni parametrů výměny plynů během zasolení s využitím ABA a BR u jarní pšenice.

## MATERIÁL A METODA

Rostliny pšenice jarní byly pěstovány v řízených podmínkách klimaboxu při teplotě 21 °C, relativní vlhkosti vzduchu pohybující se kolem 80 %, denní fotoperiodě 16 hodin světla s ozářeností  $700 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 8 hodin tmy. V nádobách s agroperritem o objemu  $950 \text{ cm}^3$  bylo pěstováno vždy 12 rostlin. Vlhkost agroperritu byla udržována gravimetricky na  $70 \pm 2 \%$  maximální kapilární vodní kapacity ( $\theta_{\text{MKK}}$ ). Základní živiny byly dodány dvakrát týdně formou Knopova živného roztoku, mikroelementy na začátku dle Bensona.

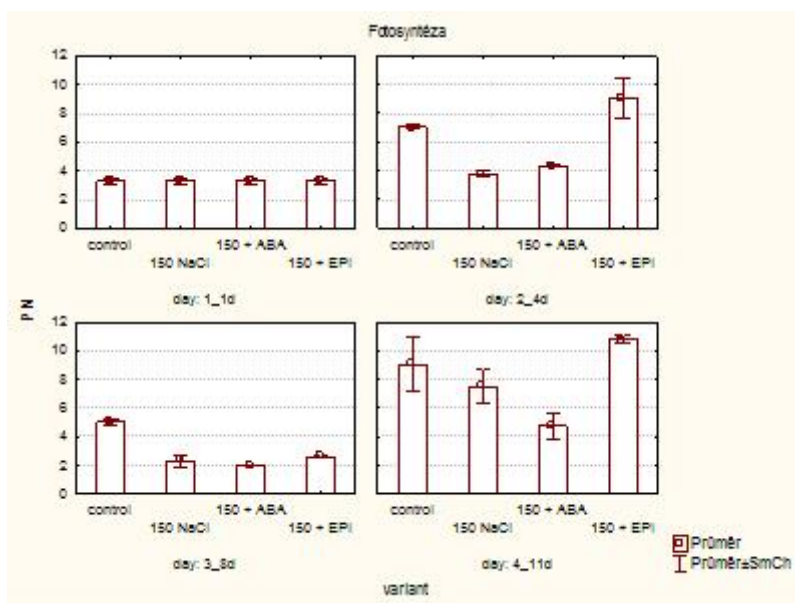
Rostliny staré 21 dnů byly rozděleny do 4 variant: kontrola (K), zasolení 150 mM NaCl (S), zasolení 150 mM NaCl + aplikace ABA (S-ABA), zasolení 150 mM NaCl + aplikace 24-epibrassinolidu (S-BR). Fytohormony byly aplikovány záhlvkou ke kořenům po navození zasolení. Varianta S-ABA byla ošetřena záhlvkou  $50 \text{ cm}^3$  100  $\mu\text{M}$  ABA<sup>Sigma Aldrich</sup> /18/. Varianta S-BR byla ošetřena záhlvkou  $50 \text{ cm}^3$  0,001  $\mu\text{M}$  24-epibrassinolidu<sup>Sigma Aldrich</sup> /19, 20/.

Reakce rostlin na změny vnějších vlivů v pěstebním substrátu byly u všech variant monitorovány na úrovni fyziologie listů. Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ) a efektivita využití vody ( $\text{WUE}=P_N/E$ ) byly stanoveny na intaktních, plně vyvinutých listech pomocí gazometrického infračerveného analyzátoru LCpro+ (ADC Bio Scientific Ltd.). Měření probíhalo v asimilační komoře analyzátoru při teplotě 21 °C, ozáření 700  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , vlhkosti vzduchu 50 % a koncentraci  $\text{CO}_2$  350  $\mu\text{mol.mol}^{-1}$ . Měření bylo rozděleno do 3 částí, které probíhaly v těchto termínech: 1. v období 4 dny po navození zasolení (4 sd), 2. v období 8 dnů po navození zasolení (8 sd), 3. v období 11 dnů po navození zasolení (11 sd). Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí programu StatSoft, Inc. (2008) – STATISTICA Cz, verze 9 vícenásobnou analýzou rozptylu při  $\alpha = 0,05$ . Publikované hodnoty jsou průměrem ze tří opakování.

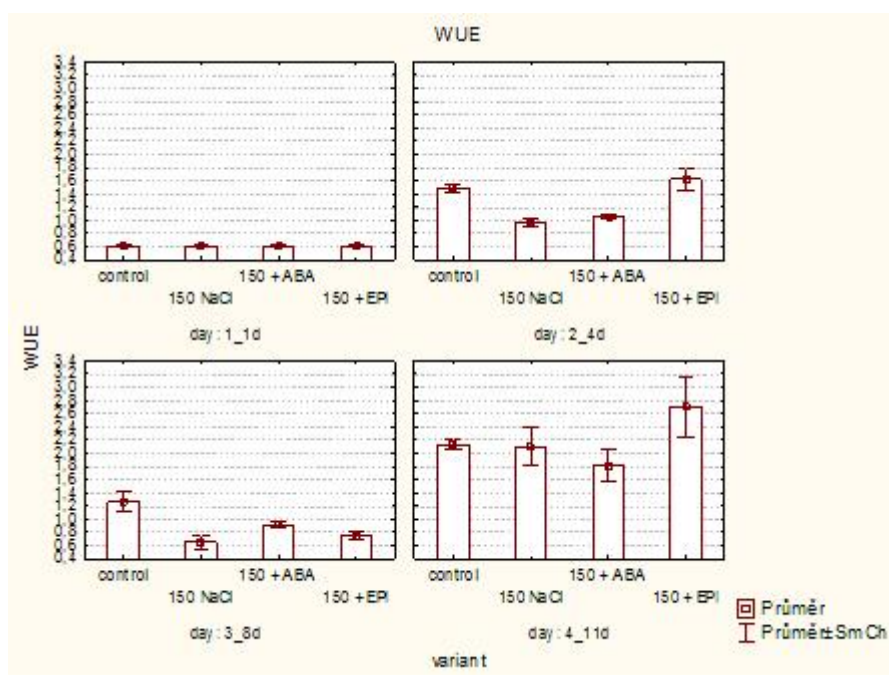
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Naměřené hodnoty sledovaných fyziologických parametrů stresovaných rostlin pšenice jsou uvedeny v grafech 1 - 2. Hodnoty fotosyntézy uvádíme v grafu 1. Na začátku měření (1\_1d) jsou hodnoty  $P_N$  u všech variant shodné, neboť bylo provedeno před zasolením a aplikací fytohormonů. Pšenice (*Triticum* sp.) patří mezi středně tolerantní plodiny a dle pokusů /21/ dochází při 100 mM NaCl ke snížení jejího výnosu. V našem případě došlo ke statisticky významnému snížení  $P_N$  4. až 8 den zasolením 150 mM NaCl. Zjištěné výsledky jsou v souladu např. s prací /22/, kteří se zabývali vlivem zasolení na výměnu plynů u rostlin *Helianthus* sp. Aplikací ABA v kombinaci se zasolením varianty S\_ABA došlo také ke snížení intenzity  $P_N$ , kdy v posledním měření byla hodnota dokonce průkazně nižší než u varianty S.

Účinek ABA na intenzitu  $P_N$  byl dlouhodobý, varianty ošetřené ABA zůstaly průkazně nižší ve srovnání s kontrolou až do konce pokusu.



Graf 1: Parametry fotosyntézy (v  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )



Graf 2: Parametry efektivity využití vody (v  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ )

Aplikace BR varianty *S-BR* naopak způsobila zvýšení  $P_N$ . Hodnota  $P_N$  v prvních dnech dokonce průkazně převyšuje *K* i *S*. Po 11. dnech pokusu (4\_11d) si tato varianta ponechala vyšší hodnoty  $P_N$  i pod působením stresu. Obdobné účinky BR na intenzitu  $P_N$  při současném působení NaCl uvádějí /23/ u rostlin *Cajanus cajan* nebo /20/ u rostlin *Brassica* sp.

Hodnoty WUE uvádíme v grafu 2. Výsledky měření ukazují, že zasolení způsobilo i v kombinaci s aplikací ABA výrazné snížení WUE. V tomto případě aplikace ABA pšenici

neprospěla. K výraznému zvýšení WUE bylo zjištěno po aplikaci BR, jehož účinek byl po dobu trvání pokusu vždy nad úrovní varianty S a S-ABA. Výsledky jsou opět v souladu s /23/.

Působení 150 mM NaCl způsobilo snížení  $P_N$  u pšenice. Podané fytohormony (ABA, BR) se lišily v jejich účinnosti. Aplikace 24-epibrassinolidu významněji podpořila efektivní využití vody při působení zasolení.

## LITERATURA

- /1/ Bray, E.A., Bailey-Serres, J., Weretilnyk, E.: Responses to abiotic stresses. In: Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L. (eds) Biochemistry and molecular biology of plants. ASPP, Rockville, 2000: 1158-1203.
- /2/ Paranychianakis, N.V., Chartzoulakis, K.S.: Irrigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. Agriculture, ecosystems & environment, 106, 2005: 171-187.
- /3/ Ashraf, M.: Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199, 2004: 361–376.
- /4/ Pazderů, K.: Možnosti ovlivnění výkonu semen ve stresových podmínkách. In: Hnilička, F.: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2010. ČZU, Praha 2010: 57-60.
- /5/ Khripach, V., Zhabinskii, V., De Groot, A.: Twenty years of brassinosteroids: steroidal plant hormones Warrant better crops for the XXI century. Annals of Botany, 86, 2000: 441-447.
- /6/ Hartung, W., Davies, W. J.: Drought-induced changes in physiology and ABA. Absciscic acid: Physiology and Biochemistry. Bios Scientific Publishers, Oxford, 1991: 63–79.
- /7/ Bray, E. A.: Molecular responses to water deficit. Plant Physiology, 103, 1993: 1035–1040.
- /8/ Xiong, L.: Absciscic acid in plant response and adaptation to drought and salt stress. In: Jenks MA, Hasegawa PM, Jain MS: Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops, Springer, 2007:193-221.
- /9/ Zhang, J., Zhang, X., Liang, J.: Exudation rate and hydraulic conductivity of maize roots are enhanced by soil drying and absciscic acid treatment. New Phytologist, 131, 1995: 329–336.
- /10/ Setter, T. L.: Role of the phytohormone ABA in drought tolerance: potential utility as a selection tool. Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium. CIMMYT. El Batan. Mexico, 1996: 142–150.
- /11/ Mansfield, T. A., McAinsh, M. R.: Hormones as regulators of water balance. Plant Hormones, Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995: 598–616.
- /12/ Deak, K.I., Malamy, J.: Osmotic regulation of root system architecture. Plant Journal, 43, 2005: 17-28.
- /13/ Acharya, B. R., Assmann, S. M.: Hormone interactions in stomatal function. Plant Molecular Biology, 69, 2009: 451–462.
- /14/ Khripach, V. A., Zhabinskii, V. N., de Groot, A. E.: Brassinosteroids ¾ a new class of plant hormones. Academic Press, San Diego, USA, 1999: 325–346.
- 15/ Sakurai, A.: Biosynthesis. Brassinosteroids - Steroidal Plant Hormones, 1999: 91–111.
- /16/ Clouse, S. D., Sasse, J. M.: Brassinosteroids: Essential Regulators of Plant Growth and Development. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 1998: 427–451.
- /17/ Yuan, G. F., Jia, C. G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L. P., Liu, N., Wang, Q. M.: Effect of brassinosteroids on drought resistance and absciscic acid concentration in tomato under water stress. Scientia Horticulturae, 126, 2010: 103-108.
- /18/ Pospíšilová, J.: Interaction of cytokinins and absciscic acid during regulation of stomatal opening in bean leaves. Photosynthetica, 41, 2003: 49-56.
- /19/ Sharma, P., Bhardwaj, R.: Effect of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth and heavy metal uptake in *Brassica juncea* L. General and Applied Plant Physiology, 33, 2007: 59-73.
- /20/ Hnilička, F., Martinková, J., Koudela, M., Svozilová, L.: Vliv 24-epibrassinolidu na výměnu plynů kvěťáku. Vliv abiotických a biotických faktorů na vlastnosti rostlin. ČZU, Praha 2009: 195-198.
- /21/ Maas, E.V., Hoffman, G.J.: Crop salt tolerance – current assesment. Journal of the Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineering 103, 1977: 115-134.
- /22/ Rivelli, A. R., Lovelli, S., Perniola, M.: Effects of salinity on gas exchange, water relations and growth of sunflower (*Helianthus annuus*). Functional Plant Biology, 29, 2002: 1405-1415.
- /23/ Dalio, R. J. D., Pinheiro, H. P., Sodek, L., Haddad, C. R. B.: The effect of 24-epibrassinolide and clotrimazole on the adaptation of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. to salinity. Acta Physiologiae Plantarum, 33, 2011: 1887-1896.

## Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory specifického výzkumu Univerzity Hradec Králové č. 2110/01470/1210.

## **VZTAHY MEZI REFLEKTANČNÍMI INDEXY PRI A NDVI, MRAZUVZDORNOSTÍ (LT50) A AKUMULACÍ DEHYDRINŮ U 5 ODRŮD ŘEPKY OLEJKY**

### ***THE RELATIONSHIP AMONG REFLECTANCE INDEXES PRI AND NDVI, FROST TOLERANCE (LT50) AND DEHYDRIN ACCUMULATION IN 5 GENOTYPES OF WINTER RAPESEED***

Milan Oldřich Urban

Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507/73, Praha 6 Ruzyně; olinek.vcelar@seznam.cz

#### ***Summary***

The aim of this study was to found whether there is some relationship among measured values of dehydrin accumulation (DHN), frost tolerance determined by conductometry (lethal temperature - LT50), leaf related reflectance indexes PRI and NDVI and photosynthetic values measured by TPS-1. The most significant correlations were found in relationship with DHN, especially DHN to WUE and LT50.

*Key words: winter rapeseed, dehydrin, frost tolerance, PRI, NDVI, photosynthesis*

#### ***Souhrn***

Cílem této studie bylo ověřit, zda lze u rostlin řepky olejky nalézt vztahy mezi naměřenými hodnotami akumulace dehydrinů (DHN), mrazuvzdorností stanovenou konduktometricky (LT50), reflektančními indexy PRI a NDVI, měřenými na listech a fotosyntetickými hodnotami listů, měřenými pomocí TPS-1. Nejvíce významných korelací je pozorovatelných ve vztahu s akumulací DHN, z toho korelace DHN k WUE a LT50 jsou nejvyšší.

*Klíčová slova: řepka olejka, dehydrin, mrazová odolnost, PRI, NDVI, fotosyntéza*

## **ÚVOD**

Posouzení mrazuvzdornosti (FT; frost tolerance) u rodu *Brassica* (ale i u dalších plodin) je v polních podmínkách ovlivněno průběhem počasí, které je pro každý rok specifické s účastí různých faktorů odlišné síly a délky trvání /1/. Ukazuje se, že FT lze indukovat dlouhodobým působením nízkých teplot nad bodem mrazu. Akumulace dehydrinů (DHN) je na základě mnoha studií /1-5/ považována za jeden z významných genotypově podmíněných znaků, které indukují nebo usnadňují odolnost rostlinných buněk k dehydrataci (a tedy i k chladu). Dehydriny tvoří samostatnou skupinu v rámci velké rodiny LEA proteinů (tzv. LEA II nebo LEA-D11 proteiny) a jsou zkoumány více než dvacet let. Schopnost DHN vázat vodu ve svých molekulách s minimem intracelulárních vodíkových vazeb je předurčuje k interakci s povrchy membrán nebo jiných proteinů a zabraňuje tak jejich další dehydrataci /4, 5/. DHN chrání enzymy před chladovými změnami skupenství vody (kryoprotektivní funkce např. u pšenice WCS120). Navíc jsou DHN schopny zhášet reaktivní formy kyslíku a



jeho radikály /6, 7/. Díky těmto vlastnostem jsou DHN významnou skupinou stresově indukovatelných proteinů a je možné je využít jako fyziologických markerů odolnosti některých odrůd nebo hodnotit hladinu stresové odpovědi sledováním jejich expresních profilů (množství transkriptů v buňkách, pletivech /1-14/. DHN jsou ovšem jen jedny z finálních produktů signálních drah, které může buňka produkovat /21/. Kapesní přístroje, založené na měření reflektančních odrazů jsou využívány v široké míře pro levné, rychlé a opakovatelné stanovení aktuálního stavu rostlin /15-18/. Nejvíce využívanými indexy reflektančních odrazů jsou PRI a NDVI. PRI (Reflektanční fotochemický index) index je citlivý na změny obsahu fotoprotektivních karotenoidů, které jsou indikátory efektivity využití fotosynteticky aktivní radiace (FAR).

## MATERIÁL A METODA

Rostliny byly kultivovány, odebírány a měřeny podle /21/. Na základě metody mrazově podmíněného výtoku elektrolytů z terčů nejmladších plně vyvinutých listů v rozmezí teplot -3 až -30 °C (tzv. přímý mrazový test; /19, 20/) byla stanovena aktuální mrazová odolnost odrůd. Výsledky konduktometrie byly zhodnoceny programem LT<sub>50</sub> (lethal temperature; /20/). Extrakce proteinů rozpustných po varu a SDS-PAGE a následná hybridizace rozdělených proteinů s anti-dehydrin protilátkou proběhla dle /1/. Kvantitativní analýza v programu Quantity One 4.6.7 (Bio-Rad) následovala po skenování membrány na kalibrovaném denzitometru. Hodnoty PRI a NDVI byly měřeny přístroji PlantPen PRI200 a NDVI200 (Photon Systems Instruments, ČR). Statistické vyhodnocení korelací získaných denzit bylo provedeno v programu Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA) na základě faktorové analýzy. Cílem bylo posoudit podobnost znaků a nalézt vybočující objekty, resp. jejich proměnné.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Podrobná data a výsledky akumulace DHN tohoto pokusu naleznete v /21/.

Tab. 1: Použité hodnoty a poměry hodnot pro analýzu

|          | DHN   | PRI    | NDVI    | E    | GS   | Pn   | WUE  | WUEi  | LT50   |
|----------|-------|--------|---------|------|------|------|------|-------|--------|
|          |       | K-S    | K-S     | S/K  | S/K  | S/K  | S/K  | S/K   |        |
| <b>F</b> | 17,8% | 0,0755 | 0,02685 | 0,14 | 0,20 | 0,58 | 4,13 | 10,62 | -13,21 |
| <b>N</b> | 30,4% | 0,0535 | 0,0194  | 0,14 | 0,20 | 0,93 | 6,54 | 15,64 | -13,69 |
| <b>B</b> | 7,1%  | 0,0682 | 0,0283  | 0,21 | 0,28 | 0,55 | 2,64 | 4,54  | -11,53 |
| <b>M</b> | 29,0% | 0,0695 | 0,091   | 0,22 | 0,37 | 1,17 | 5,56 | 9,63  | -13,50 |
| <b>L</b> | 17,8% | 0,0816 | 0,06275 | 0,15 | 0,29 | 0,71 | 4,43 | 10,01 | -12,07 |

Tabulka 1 ukazuje mediány hodnot (n=5) kontrolních a stresovaných rostlin. Písmena označují odrůdy (F-Californium, N-Navajo, B-Benefit, M-Mickey, L-Ladoga; Pn – čistá fotosyntéza, GS – vodivost průduchů, E – transpirace, WUE – efektivita využití vody). Hodnoty jsou vyjádřeny buď jako rozdíl hodnot (kontrola minus stresovaná rostlina), nebo jako podíl těchto hodnot (S/K). V případě DHN a LT<sub>50</sub> vidíme aktuálně změřené hodnoty, bez vztahu ke kontrole /21/. Odrůdy N a M dosáhly i ve stresované variantě vysokých hodnot fotosyntézy, srovnatelné s kontrolou, a měly také velmi vysoké WUE a DHN. Hodnota WUE byla vypočítána jako Pn/E, hodnota WUEi jako poměr Pn/gs. Odrůda B naopak akumulovala

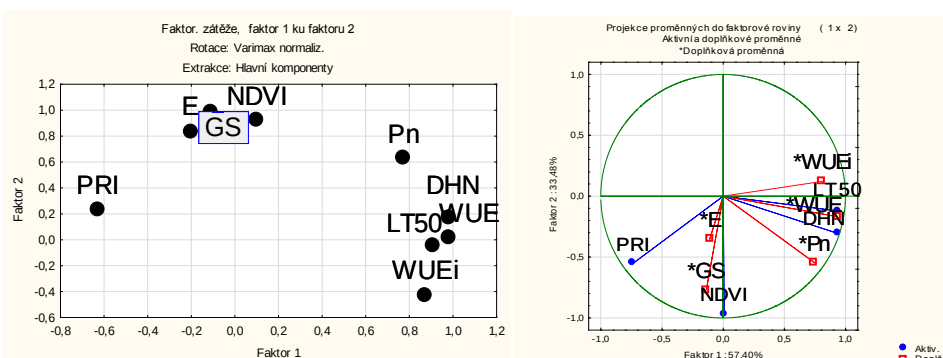
nejméně DHN (kvalitativní rozdíl oproti ostatním) a hodnota LT50 byla nejnižší. Také u B došlo k největšímu snížení Pn, WUE i WUEi.

Tab. 2: Korelační matice hodnot

| Korelace (Tabulka1) Označ. korelace jsou významné na hlad. $p < ,05000$ N=24 (Celé případy vynechány u ChD) |               |               |              |               |               |              |              |              |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------|
|                                                                                                             | DHN           | PRI           | NDVI         | E             | GS            | Pn           | WUE          | WUEi         | LT50  |
| DHN                                                                                                         | 1,000         |               |              |               |               |              |              |              |       |
| PRI                                                                                                         | <b>-0,511</b> | 1,000         |              |               |               |              |              |              |       |
| NDVI                                                                                                        | 0,288         | <b>0,421</b>  | 1,000        |               |               |              |              |              |       |
| E                                                                                                           | -0,103        | -0,025        | <b>0,566</b> | 1,000         |               |              |              |              |       |
| GS                                                                                                          | 0,064         | 0,291         | <b>0,908</b> | <b>0,835</b>  | 1,000         |              |              |              |       |
| Pn                                                                                                          | <b>0,859</b>  | -0,397        | <b>0,632</b> | 0,397         | <b>0,543</b>  | 1,000        |              |              |       |
| WUE                                                                                                         | <b>0,978</b>  | <b>-0,578</b> | 0,147        | -0,240        | -0,072        | <b>0,776</b> | 1,000        |              |       |
| WUEi                                                                                                        | <b>0,806</b>  | <b>-0,518</b> | -0,226       | <b>-0,645</b> | <b>-0,498</b> | 0,404        | <b>0,889</b> | 1,000        |       |
| LT50                                                                                                        | <b>0,892</b>  | <b>-0,512</b> | 0,053        | -0,193        | -0,180        | <b>0,657</b> | <b>0,845</b> | <b>0,777</b> | 1,000 |

Všechny statisticky významné korelace jsou označeny **tučně** a jsou významné na hladině  $p < 0,05$ .

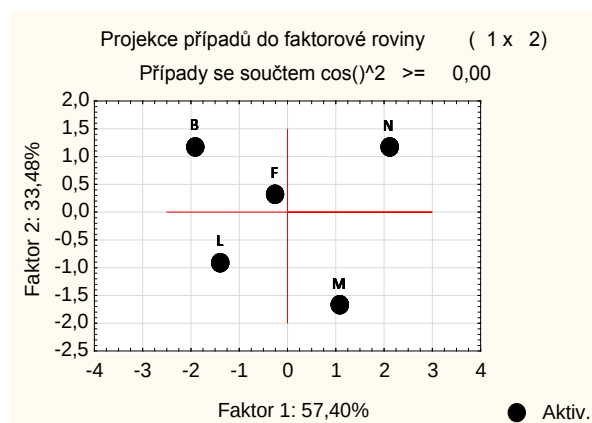
Tabulka 2 (po standardizaci dat) názorně ukazuje korelační vztahy mezi všemi měřenými hodnotami. Za fyziologicky zajímavé si dovoluujeme považovat korelace vyšší než 0,75. Je patrné, že nejvíce významných korelací je pozorovatelných ve vztahu s DHN, z toho korelace k WUE (Pn/E) a LT50 jsou nejvyšší. Vysoké jsou také korelace mezi NDVI a GS či Pn. Tato závislost byla již prokázána v jiných publikacích. Na základě dalších hodnot můžeme říci, že se v námi získaných výsledcích nepodařilo potvrdit významný vztah mezi PRI a NDVI, a to ani vzhledem k akumulaci DHN a WUE. Obsah či syntéza chlorofylu (NDVI) nebyla po stresu chladem významně snížena, zatímco deepoxidace xantofylového cyklu (PRI) byla zvýšena výrazně. Závislost mezi DHN a LT50 ( $R=0,892$ ) je statisticky významná hodnota, která odráží skutečnost přímé kladné korelace mezi akumulací DHN a hodnotou LT50, vyjádřené aktuální mrazuvzdorností listových pletiv, a byla již byla několikrát prokázána. Korelace mezi akumulací DHN a hodnotou WUE (Pn/E) je také kladná a vysoká ( $R=0,978$ ) a statisticky významná na hladině  $p < 0,05$ . Na základě této vazby je možno tvrdit, že vyšší hodnota Pn, spolu s nižší E (a následně vyšší efektivita využití vody) souvisí se změnami energetického a s úpravou vodního metabolismu řepky olejky a má vliv na akumulaci DHN.



Graf 1: Graf faktorové zátěže, rotace Varimax      Graf 2: Projekce proměnných do faktorové roviny

V grafu 1 vidíme, že faktor 1 je nejvíce ovlivněn (zatížen) shlukem DHN, WUE a LT50, které spolu úzce koreluje. Méně s tímto shlukem koreluje Pn a WUEi, i když mají na hodnotu faktoru 1 stejný (velký) vliv. Hodnoty PRI ovlivňují faktor 1 také, ale s výše uvedenými hodnotami ve shluku nekoreluje. Znak NDVI ovlivňuje první faktor jen velmi malými vahami. Faktor 2 je nejvíce ovlivněn hodnotami E a GS a NDVI (a tyto hodnoty jsou

také ve shluku). Podle daného výstupu FA je také možno usoudit, že znak  $P_n$  zatěžuje oba dva faktory stejně významně (Graf 2) a je schopen vysvětlit velké procento variability ostatních znaků.



Graf 3: Projekce případů do faktorových rovin

V tomto schématu (graf 3) jsou znázorněny genotypy řepky olejky, podle jejich projekce do dvou faktorových rovin na základě všech výše uvedených výsledků. Jednotlivé genotypy řepky se ve všech hodnotách lišily (jsou roztroušené). Přesto můžeme genotypy hrubě rozdělit do dvou skupin podle prvního faktoru. První skupina N, M a druhá skupina B, F, L, podle jejich umístění kolem hlavních os. Odrůda Navajo (N) dosáhla nejvyšší mrazuvzdornosti, stejně jako odrůda Mickey (M). Vzhledem k faktorové zátěži (Fig. 1) je možno usoudit, že vyšší rychlost čisté fotosyntézy a lepší využití vody nejvíce ovlivní akumulaci DHN a tím zajistí vyšší odolnost k chladu a mrazu.

Nejvíce významných korelací je pozorovatelných ve vztahu s akumulací DHN, z toho korelace DHN k WUE ( $P_n/E$ ) a LT50 jsou nejvyšší. Na základě dalších hodnot můžeme říci, že se v námi získaných výsledcích nepodařilo potvrdit významný vztah mezi PRI a NDVI, a to ani vzhledem k akumulaci DHN a WUE, přestože deepoxidace xantofylového cyklu (PRI) byla zvýšena po chladu výrazně. Podle projekce všech výsledků do dvou faktorových rovin bylo možno od sebe genotypy odlišit, protože se ve většině hodnot lišily. Prozatím můžeme vyslovit domněnku, že chladově podmíněná (indukovaná) vyšší rychlost čisté fotosyntézy a lepší využití vody nejvíce ovlivní akumulaci DHN a tím zajistí u řepky vyšší odolnost k chladu a mrazu. Hodnoty  $P_n$  a WUE během chladu – bráné jako rozdíly mezi kontrolním a aklimovaným stavem jednotlivého genotypu - se tedy mohou stát dobrými fyziologickými markery odolnosti k mrazu.

## LITERATURA

- /1/ Vítámvás, P., Saalbach G., Pražil I. T., Čapkova V., Opatrna J., Jahoar A.: WCS120 protein family and proteins soluble upon boiling in cold-acclimated winter wheat. *Journal of Plant Physiology* Vol. 164 (9), 2007: 1197 – 1207.
- /2/ Ismail, A. M., Hall, A. E., Close, T. J.: Allelic variation of a dehydrin gene cosegregates with chilling tolerance during seedling emergence. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* Vol. 96 (23), 1999: 13566 – 13570.
- /3/ Volaire, F.: Drought survival, summer dormancy and dehydrin accumulation in contrasting cultivars of *Dactylis glomerata*. *Physiol. Plant.* 116 2002: 42 – 51.
- /4/ Campbell, S. A., Close, T. J.: Dehydrins: genes, proteins, and associations with phenotypic traits. *New Phytol.* 137, 1997: 61-74.

- /5/ Close, T. J.: Dehydrins: A commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiol. Plant.* 100, 1997: 291-296.
- /6/ Hara, M., Fujinaga, M., Kuboi, T.: Metal binding by citrus dehydrin with histidine-rich domains. *J. Exp. Bot.* 56, 2005: 2695–2703.
- /7/ Hara, M., Terashima, S., Kuboi, T.: Characterization and cryoprotective activity of cold-responsive dehydrin from *Citrus unshiu*. *J. Plant Physiol.* 158, 2001:1333-1339.
- /8/ Nylander, M., Svensson, J., Palva, E. T., Welin, B. V.: Stress-induced accumulation and tissue-specific localization of dehydrins in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Mol. Biol.* 45, 2001: 263-279.
- /9/ Rorat, T., Grygorowicz, W. J., Irzykowski, W., Rey, P.: Expression of KS-type dehydrins is primarily regulated by factors related to organ type and leaf developmental stage during vegetative growth. *Planta* 218, 2004: 878-885.
- /10/ Borovskii, G. B., Stupnikova, I. V., Antipina, A. I., Downs, C. A., Voinikov, V. K.: Accumulation of dehydrin like proteins in the mitochondria of cold-treated plants. *J. Plant Physiol.* 156, 2000: 797-800.
- /11/ Borovskii, G. B., Stupnikova, I. V., Antipina, A. I., Vladimirova, S. V., Voinikov, V. K.: Accumulation of dehydrin-like proteins in the mitochondria of cereals in response to cold, freezing, drought and ABA treatment. *BMC Plant Biol.* 2, 2002: 5.
- /12/ Carjuzaa, P., M. Castellió, A.J. Distéfano, M. del Vas, and S. Maldonado. 2008. Detection and subcellular localization of dehydrin-like proteins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) embryos. *Protoplasma* 233:149-156.
- /13/ Cellier, F., Conejero, G., Breitler, J. C., Casse, F.: Molecular and physiological response to water deficit in drought-tolerant and drought-sensitive lines of sunflower. *Plant Physiol.*, 116, 1998: 319-328.
- /14/ Suprunova, T., Krugman, T., Fahima, T., Chen, G., Shams, I., Korol, A., Nevo, E.: Differential expression of dehydrin genes in wild barley, *Hordeum spontaneum*, associated with resistance to water deficit. *Plant, Cell Environ.* 27, 2004: 1297-1308.
- 15/ Rocío, H. C., Rafael, M. N., Lola, S.: Assessing structural effects on PRI for stress detection in conifer forests. *Remote Sensing of Environment.* 115, 2011: 2360-2375
- /16/ Evain, J., Flexasb, S., Moya, I.: A new instrument for passive remote sensing: 2. Measurement of leaf and canopy reflectance changes at 531 nm and their relationship with photosynthesis and chlorophyll fluorescence, *Remote Sensing of Environment*, 91, 2004: 175–185
- /17/ Dobrowski, S. Z., Pushnik, J. C., Zarco-Tejada, P. J., Ustin, S. L., Suárez, L., Zarco-Tejada P. J., G. Sepulcre-Cantó, G., Pérez-Priego, O.: Simple reflectance indices track heat and water stress-induced changes in steady-state chlorophyll fluorescence at the canopy scale, *Remote Sensing of Environment* 97 (2005) 403 – 414
- /18/ Miller, J. R., Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J.: Remote Assessing canopy PRI for water stress detection with diurnal airborne imagery, *Sensing of Environment*, 112, 2008: 560–575
- /19/ Prášil, I., Zámečník, J.: The use of a conductivity measurement method for assessing freezing injury. I. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree on injury, *Environ. exp. Bot.*, 40, 1998:1-10
- /20/ Janáček, J., Prášil, I.: Quantification of plant frost injury by nonlinear fitting of an S-shaped function, *Cryo-Letters.* 12, 1991: 47-52
- /21/ Urban, M. O., Klíma, M., Vítámvás, P., Kučera, V.: Akumulace mrazuvzdornost řepky olejky (LT50) v závislosti na akumulaci dehydrinů, *Úroda* 12/2012, vědecká příloha časopisu na CD

## Poděkování

Uvedená Práce vznikla s podporou projektů MZe: QH82285 a dále MZe: QI 111A075.

## VLIV STRUKTURY POROSTŮ KUKUŘICE SETÉ NA DISTRIBUCI SRÁŽEK

### *THE EFFECT OF MAIZE CROP STRUCTURE ON THE DISTRIBUTION OF PRECIPITATION*

Petr Zábranský<sup>1</sup>, Václav Brant<sup>1</sup>, Jan Pivec<sup>1</sup>, Markéta Gernerlová<sup>1</sup>, Milan Kroulík<sup>2</sup>

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie<sup>1</sup> a TF, katedra zemědělských strojů<sup>2</sup>, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát, zabranskyp@af.czu.cz

#### *Summary*

The effect of different structures of maize stands on the distribution of precipitation was evaluated under the field conditions. Vegetation corn row width of 0.45 and 0.75 m were monitored. Values of stand precipitation and stem flow were measured, while values of integrated interception were calculated. Leaf area index values were estimated using the image analysis. The effect of inter-row width between plants significantly modified throughfall quantity of water on the soil surface. Greater values of throughfall were determined in areas with a row-width equal to 0.75 m, while greater values of stem flow then in areas with a row-width equal to 0.45 m.

*Key words: precipitation, interception, stem flow, throughfall, stand structure, Zea mays L.*

#### *Souhrn*

V polních podmínkách byl hodnocen vliv rozdílné struktury porostů kukuřice na distribuci srážek. Sledovány byly porosty kukuřice se šířkou řádků 0,45 a 0,75 m. Měřeny byly hodnoty porostní srážky a tok vody po stéble. Z těchto veličin byly vypočteny hodnoty integrované intercepce. Pomocí analýzy obrazu byly stanovovány hodnoty indexů listové plochy. Vliv šířky meziřádku mezi rostlinami výrazně modifikoval množství propadlé vody na povrch půdy. Vyšší hodnoty porostní srážky byly stanoveny na plochách se šířkou řádků 0,75 m. Vyšší hodnoty toku vody po stéble poté v porostech s šířkou řádků 0,45 m.

*Klíčová slova: srážky, intercepce, tok po stéble, porostní srážka, struktura porostu, Zea mays L.*

## ÚVOD

Rostlinný pokryv výrazně ovlivňuje distribuci srážek dopadajících na povrch půdy. V případě redistribuce srážky se jedná o porostní srážku, která zahrnuje odkap vody z listů, přímý propad srážky na půdu a tok vody po rostlině (kmen, stéblo, lodyha). Tok vody po rostlině výrazně ovlivňuje koloběh vody a živin ve fytocenózách (např. /1/ a /2/), erozní procesy (např. /3/) apod. Dle literárních údajů /4/ může až jedna třetina toku vody po stéble kukuřice přispívat ke vzniku povrchového odtoku. Z hlediska závislosti mezi hodnotou srážky (nezávisle proměnná) a hodnotami porostní srážky a toku po stéble byla u rostlin kukuřice potvrzena pozitivní korelace /5/. Tito autoři rovněž poukazují na skutečnost, že při nižších hodnotách srážky narůstá v porostu kukuřice hodnota podílu mezi stokem a porostní srážkou. S nárůstem srážky hodnota tohoto podílu klesá. Cílem práce bylo potvrdit hypotézu o rozdílném vlivu struktury porostu na distribuci srážek v kukuřici seté.

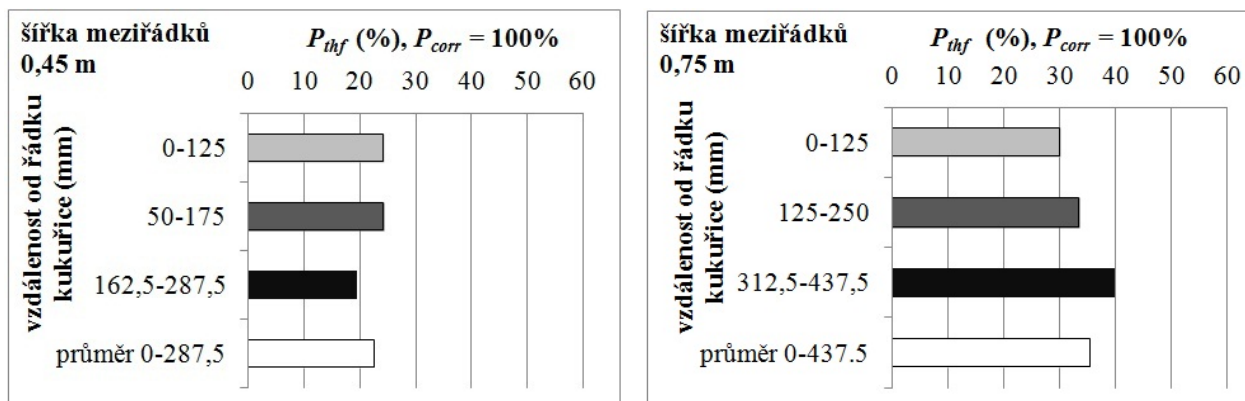
## MATERIÁL A METODA

V dubnu 2012 byly na lokalitě Budihostice založeny dvě pokusné plochy s porosty kukuřice o šířce řádků 0,45 m a 0,75 m. Velikost každé plochy činila 1 ha (hybrid PR38N86). Základním zpracováním půdy byla orba. Oba výsevy byly provedeny šestiřádkovým secím strojem Kverneland Accord Optima HD. Průměrná vzdálenost rostlin v řádku činila po vzejití u porostů s roztečí řádků 0,45 m 0,271 m (nastavená vzdálenost při výsevu byla 0,255 m) a 0,151 m u řádků o šířce 0,75 m (nastavená vzdálenost 0,150 m). Skutečný počet rostlin na jednotku plochy dosahoval u řádků 0,45 m 88 889 rostlin na ha a u širokých řádků 89 333 rostlin na ha. V porostech byla hodnocena porostní srážka, která zahrnovala přímý propad srážek a odkap vody z listů. Propad byl měřen pomocí sběrných trychtýřů o průměru 125 mm se záchytnou nádobou (objem 0,5 l). Sběrná plocha se nacházela 200 mm nad povrchem půdy (eliminace znečištění zeminou). V každém porostu bylo umístěno celkem 21 trychtýřů. Střed sedmi trychtýřů se nacházel ve středu meziřádku, sedmi ve středu poloviny meziřádku a ostatní byly umístěny těsně u řádku kukuřice. Stok vody po stéble byl hodnocen pomocí záchytných trychtýřů o průměru 45 mm umístěných ve výšce 200 mm nad zemí kolem stébla s akumulační lahví o objemu 1 l (8 měření na variantě). Srážky nad porostem byly kontinuálně měřeny srážkoměrem Met One 370 (Met One Instruments, USA), hodnoty srážek byly korigovány dle /6/–  $P_{corr}$  (mm). U porostů byly stanoveny hodnoty  $LAI$  (index listové plochy) pomocí analýzy infrasinímků rozprostřené listové plochy ve 14-denních intervalech.  $LAI$  bylo stanoveno vždy na pěti rostlinách v rámci varianty. Odběry zachycené vody porostní srážky ( $P_{thf}$ , mm) a stoku po stéble ( $ST_{flow}$ , mm) byly měřeny v časových intervalech (dny), v závislosti na srážkové aktivitě. Hodnoty intercepce ( $I$ , mm) byly hodnoceny pro odběrová období a vypočteny na základě vztahu  $I = P_{corr} - (P_{thf} + ST_{flow})$ .

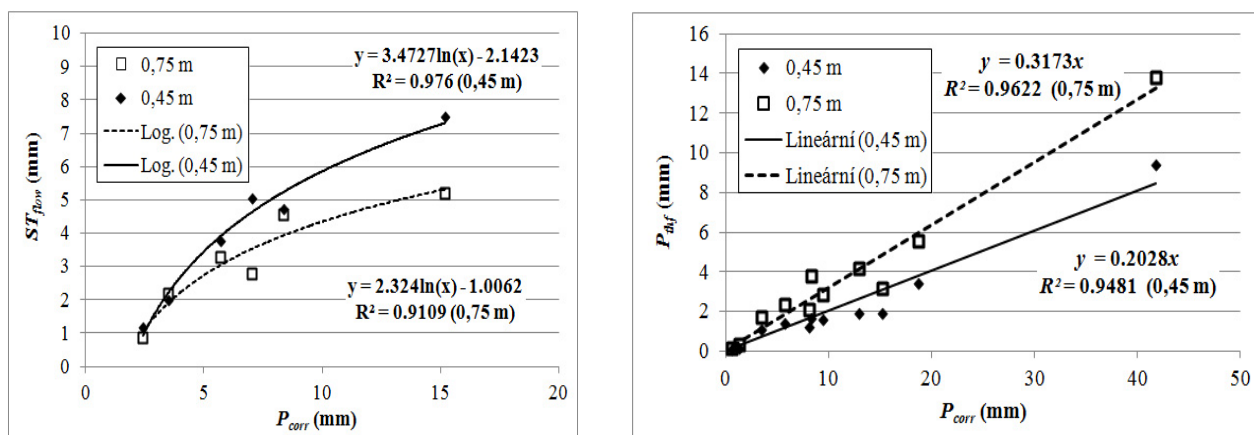
## VÝSLEDKY A DISKUSE

Průměrné hodnoty porostní srážky ( $P_{thf}$ , %) za sledovaná období v meziřádku v porostech kukuřice vyjádřené jako procentuální podíl z hodnoty srážky stanovené nad porostem ( $P_{corr} = 100\%$ ) dokumentuje graf 1. Z grafu je patrné, že vyšší hodnoty propadu srážek a odkapu vody z listů byly stanoveny v porostech o šířce meziřádku 0,75 m. Při šířce meziřádků 0,75 m došlo k nárůstu hodnot  $P_{thf}$  (%) ve středu meziřádku. Příčinou je nezapojení listové plochy ve středu meziřádku. V tomto místě lze počítat s výrazným přímým propadem srážek na povrch půdy a s intenzivním odkapem vody z konců listů do meziřádku. Směrem k řádku rostlin propad i odkap klesal. Na odkap vody do středu meziřádku, např. z hlediska vzniku kapkové eroze poukazuje např. /7/. U porostů o šířce 0,45 m byla hodnota  $P_{thf}$  naopak nejnižší ve středu meziřádku. Příčinnou této skutečnosti je pravděpodobně vyšší míra překrytí listů mezi jednotlivými řádky a větší celková pokrývnost půdy. V důsledku překrývání listů dochází u užších řádků k efektu předávání vody mezi listy, která je následně sváděna ke stéblu, po němž odtéká. Tuto hypotézu potvrzuje graf 2, který dokumentuje závislost mezi  $P_{corr}$  (mm) a hodnotami  $P_{thf}$  (mm) a  $ST_{flow}$  (mm). Z grafu je patrné, že se zvýšením hodnot  $P_{corr}$  dochází v porostech s řádky 0,75 m i k vyššímu nárůstu  $P_{thf}$  ve srovnání s řádky 0,45 m. U hodnot  $ST_{flow}$  je tomu naopak. Pozitivní korelace mezi hodnotami  $P_{corr}$  (mm) a hodnotami  $P_{thf}$  (mm) a  $ST_{flow}$  (mm) je v souladu s výsledky /6/. Graf 3 dokumentuje procentuální distribuci  $P_{corr}$  porostem za sledovaná období. Při hodnocení kratšího období, které se vyznačovalo vyšší sumou jedné kontinuální srážky (období 1.7.–2.7.

a 3.7.–5.7.) byly stanoveny nižší hodnoty intercepce. U období delších, pro něž byl typický větší výskyt denních srážek v rozmezí 0,2 – 0,4 mm, které nebyly použitou metodou hodnocení  $P_{thf}$  a  $ST_{flow}$  měřitelné, došlo v důsledku kumulace sumy srážky k nárůstu hodnot intercepce (zbývajících období). Můžeme tedy předpokládat, že při srážce odpovídající hodnotě v intervalu 0,2 – 0,4 mm byla intercepce 100%.



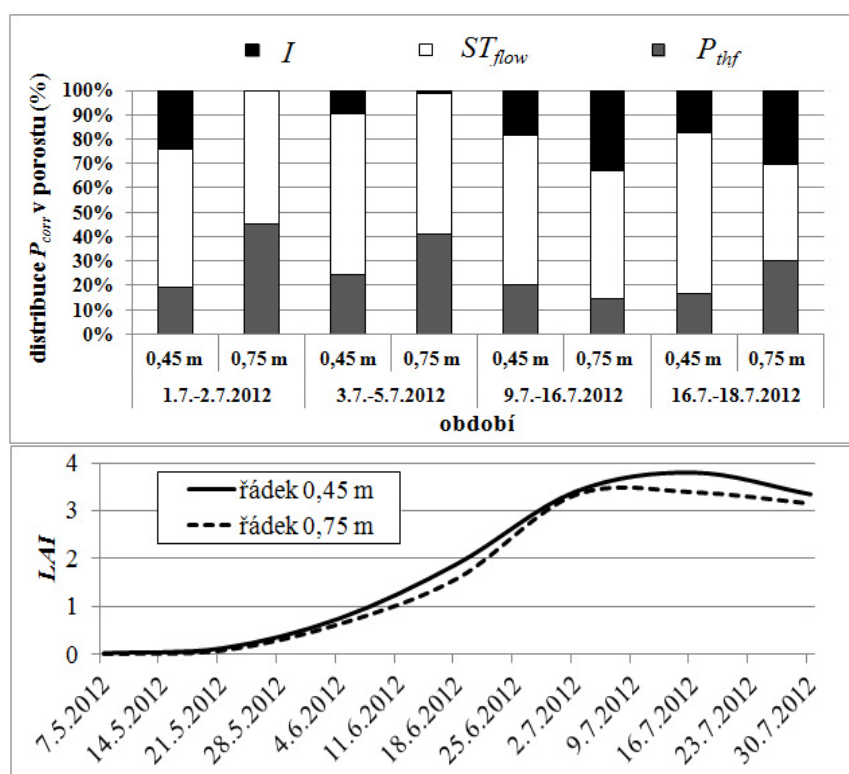
Graf 1: Průměrné hodnoty porostní srážky ( $P_{thf}$ , %) v hodnocených zónách v porostech kukuřice vyjádřené jako procentuální podíl z hodnoty srážky stanovené nad porostem ( $P_{corr} = 100\%$ ) v období od 12. 6. do 13. 8. 2012).



Graf 2: Závislost mezi hodnotou srážky nad porostem ( $P_{corr}$ , mm) a průměrnou hodnotou porostní srážky ( $P_{thf}$ , mm, vlevo) v období od 1. 7. do 13. 8. 2012 a mezi hodnotou srážky nad porostem ( $P_{corr}$ , mm) a průměrnou hodnotou stoku vody po stéble ( $ST_{flow}$ , mm, vpravo) od 1. 7. do 18. 7. 2012 v porostech s řádky 0,45 m a 0,75 m

Hodnoty LAI (Graf 3) byly vyšší na plochách s řádky 0,45 m. To může být vysvětlením vyšších hodnot intercepce v období od 1. 7. do 2. 7. 2012 a od 3. 7. do 5. 7. 2012. Další příčinou může být však primární pokrývnost povrchu půdy. Tuto skutečnost lze nepřímo potvrdit na základě intercepce slunečního záření, která byla dle výsledků /8/ vyšší v porostech kukuřice seté vyseté do užších řádků ve srovnání s řádky širokými. Na základě dosavadních experimentů je patrné, že změna struktury porostu kukuřice značně ovlivňuje distribuci vody v porostu. Výrazný je i vliv užších řádků na snížení dopadu deště a odkapávající vody na povrch půdy. U užších řádků však byly pozorovány vyšší hodnoty stoku vody po stéble.





Graf 3: Hodnoty jednotlivých složek distribuce srážek v porostech kukuřice seté v závislosti na šířce řádku vyjádřené jako procentuální podíl na srážce ( $P_{corr} = 100\%$ ) – intercepce ( $I$ , %), stok po stéble ( $ST_{flow}$ , %) a porostní srážka ( $P_{thf}$ , %) pro hodnocená období. Hodnoty LAI stanovené pro období od 7.5. – 31.7.2012.

## LITERATURA

- /1/ Price, A. G., Dunham, K., Carleton, T., Band, L.: Variability of water fluxes through the black spruce (*Picea mariana*) canopy and feather moss (*Pleurozium schreberi*) carpet in the boreal forest of northern Manitoba. J. Hydrol. 196, 1997: 310-323.
- /2/ Butler, D. R., Huband, N. D. S.: Throughfall and stem-flow in wheat. Agric. For. Meteorol. 35, 1985: 329-338.
- /3/ Neave, M., Abrahams, A. D.: Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. Earth Surf. Process. Landf. 27, 2002: 1011-1020.
- /4/ Bui, E. N., Box, J. E. Jr.: Stemflow, rain throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, 1992: 242-247.
- /5/ Paltineanu, I. C., Starr, J. L.: Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, 2000: 44-54.
- /6/ Rachner, M.: Ableitung von Korrekturfaktoren für Messwerte des Schnees. Abh. MD der DDR, Nr. 145, 1990: 47-55.
- /7/ Morgan, R. P. C.: Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing, Oxford, 2005: 304 s.
- /8/ Andrade, F. H., Calviño P., Cirilo A., Barbieri P.: Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. Agronomy Journal, 94(5), 2002: 975-980.

## Poděkování

Uvedená Práce vznikla v rámci projektu TA02010669. Autoři děkují Zemědělské farmě Bílek Budihostice, s.r.o. za poskytnutí pokusných ploch a agrotechnického servisu, firmě Kverneland Group Czech s.r.o. za poskytnutí secího stroje a technické podpory a firmě Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH za spolupráci při vedení pokusných ploch.



## **SPONZOŘI KONFERENCE**



Dodavatel přístrojů pro pedologii, hydrogeologii,  
meteorologii, výzkum rostlin a diagnostiku  
životního prostředí



**Dodáváme přístroje a certifikovaný spotřební materiál  
od světově uznávaných výrobců pro:**

- odběr porušených i neporušených vzorků půd
- odběr povrchových i podzemních vod
- odběr půdní vlhkosti a půdního vzduchu
- odběr sedimentů
- odběr odpadů a zvrstvených tekutin v nádržích a sudech
- odběr stavebních materiálů
- odběr tekutých, pastovitých a pevných odpadů
- měření vlhkosti půdy a sacího tlaku
- měření infiltrace a hydraulické vodivosti půdy
- měření teplot vzduchu, půdy a vody
- stanovení retenčních čar (pF křivek)
- stanovení čar zrnitosti
- stanovení vzdušné propustnosti půdy
- měření objemu (např. zrn)
- instalaci monitorovacích vrtů
- výstroj monitorovacích vrtů (filtry, závitové pažnice PE, bentonit, hadice)
- měření hladin vody a průtoků
- měření pH, EC, T, rozpuštěného kyslíku a redox potenciálu
- sledování meteorologických jevů (meteostanice, čidla, datalogery)
- dálkový přenos dat
- výzkum rostlin (CO<sub>2</sub>, fotosyntéza, listová plocha atd.)

**dále dodáváme:**

- půdní penetrometry
- čerpadla pro odběr vzorků vody

**Ekotechnika spol. s r.o.**

Mokropeská 1832, 252 28 Černošice u Prahy, tel.: +420 251 640 511, fax: +420 251 640 512  
E-mail: [info@ekotechnika.cz](mailto:info@ekotechnika.cz), [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz)

Zástoupení pro SR

Ing. Viliam Bárek, CSc., tel.: +421 904 547 290, e-mail: [vbarek@ekotechnika.cz](mailto:vbarek@ekotechnika.cz)



Název: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013

Editor: František Hnilička

Vydavatel: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha - Ruzyně

Česká zemědělská univerzita v Praze

Odborní recenzenti: doc. RNDr. Jan Novák, DrSc.

Ing. Zuzana Šlégrová

Tisk: Power Print

Náklad: 120 ks

Počet stran: 326

Vydání: první

Rok vydání: 2013

ISBN: 978-80-7427-131-1 (Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.)

ISBN: 978-80-213-2357-5 (Česká zemědělská univerzita v Praze)

Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou