

Vplyv kadmia na rastliny repky olejky

Matúš Peško

*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra ekoszológie
a fyziotaktiky, Mlynská dolina B2, 842 15 Bratislava, SR;
pesko@fns.uniba.sk*

Úvod a formulácia cieľa

Kadmium nemá esenciálnu funkciu v žiadnom žijúcom organizme, a preto aj nízka koncentrácia tohto kovu je pre organizmy toxická [1]. Skutočnosť, že rastliny ochotne prijímajú kadmium a translokujú ho do výhonkov, uľahčuje jeho vstup do potravinového reťazca [2]. Fargašová [3] uvádza, že pri všeobecnom porovnaní obsahu Cd v pôdach dosahuje tento kov, ako ukazovateľ miery antropogénneho znečistenia, v pôdach SR trojnásobné hodnoty ($1,24 \text{ mg.kg}^{-1}$) v porovnaní so svetom ($0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Kadmium inhibuje rast rastlín, spôsobuje chlorózu listov a modifikuje príjem esenciálnych kovov rastlinou. Kadmium tiež inhibuje biosyntézu chlorofylov a karotenoidov v rastlinách, pričom sa pozorovalo, že po aplikácii Cd dochádza k dezorganizácii ultraštruktúry chloroplastov. Kadmium má nepriaznivý účinok na svetelné i tmavé reakcie fotosyntézy: inhibuje fotosyntetický prenos elektrónu, ako aj aktivitu enzýmov Calvinovho cyklu, hlavne aktivitu enzýmu Rubisco. Ovplyvnenie permeability plazmatickej membrány kadmiumom má za následok zníženie obsahu vody v rastline [4, 5].

Repka olejka (*Brassica napus* L.) patrí medzi významné plodiny využívané nielen v potravinárskom priemysle, ale aj pri výrobe biopalív. Niektoré kultivary repky olejky sa vyznačujú schopnosťou akumulovať v pletivách rastlinných orgánov relatívne vysoké koncentrácie toxických kovov [6, 7].

Cieľom tejto práce bolo študovať ovplyvnenie niektorých produkčných parametrov hydroponicky pestovaných rastlín novej českej odrody repky olejky Oponent kadmiumom a stanoviť akumulované množstvo kadmia v rastlinných orgánoch.

Materiál a metódy

Test fytoxicity: Semená repky olejky (*Brassica napus* L.), cv. Oponent sa umiestnili na Petriho misky s priemerom 14 cm, na dne ktorých bol položený filtračný papier. V každej Petriho miske bolo na filtračný papier rovnomerne rozložených 60 semien, papier sa navlhčil destilovanou vodou (kontrola) alebo roztokom $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (LACHEMA, Brno) (10 cm^{-3}). Použili sa roztoky obsahujúce minimálne 5 rôznych koncentrácií študovanej zlúčeniny. Pre

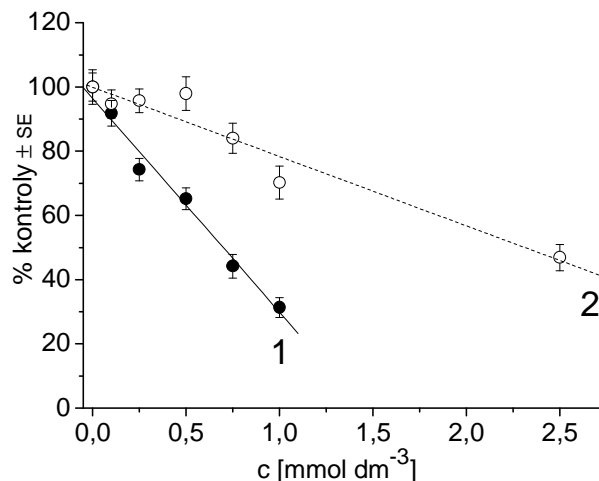
každú koncentráciu sa urobili dva paralelné experimenty. Po 72-hodinovej expozícii v tme pri teplote 23 °C sa zmerala dĺžka koreňov a výhonkov a výsledky boli štatisticky vyhodnotené.

Kultivácia rastlín v prítomnosti Cd: Semená repky olejky (*Brassica napus* L.), cv. Oponent sa vysiali do pôdy a po 3 týždňoch sa premiestnili do Knoppovho roztoku s obsahom 0, 6, 12, 24, 60 a 120 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$. 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. Obsah asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy) v listoch rastlín sa po extrakcii 80 %-ným acetónom stanovil spektrofotometricky (Genesys 6, Thermo Scientific, U.S.A) a vyhodnotil podľa Lichtenthalera [8].

Stanovenie obsahu Cd v rastlinných orgánoch: Obsah Cd v sušine koreňov a výhonkov rastlín repky olejky sa stanovil pomocou atómovej absorpčnej spektrometrie (Perkin Elmer 110, USA).

Výsledky a diskusia

Na posúdenie vplyvu toxických kovov na rastliny sa často využíva metodika koreňového elongačného testu (test fytotoxicity), pričom kritériom vplyvu toxickej zlúčeniny na kľúčnu rastlinu je miera elongácie seminálneho koreňa. Na obr. 1 je znázornená závislosť dĺžky koreňa (1) a výhonku (2) rastlín repky olejky (vyjadrené v percentách kontroly) po 72 hod. klíčenia v tme od aplikovanej koncentrácie Cd. So zvyšujúcou sa koncentráciou Cd dĺžka oboch rastlinných orgánov klesala lineárne. Z obrázku je zrejmé, že na toxický účinok Cd citlivejšie reagovali korene rastlín, čo sa odrazilo i v príslušnej hodnote polovičnej inhibičnej koncentrácie ($\text{IC}_{50} = 0,7 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$). Hodnota IC_{50} stanovená pre výhonky rastlín bola 2,31 $\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Toxické kovy sú známe ako mitotické inhibítory spôsobujúce v konečnom dôsledku redukcii rastu koreňa. Yadav a Srivastava [9] u rastlín *Hordeum vulgare* a *Setaria italica* potvrdili inhibičný účinok Cd^{2+} na mitotický index a aktívny mitotický index, pričom Cd^{2+} ióny indukovali rôzne druhy mitotických anomálií. Fytotoxický účinok vybraných kovov vyhodnotený na základe hodnôt IC_{50} vzťahujúcich sa k inhibícii rastu koreňa rastlín repky olejky, cv. Californium klesal v poradí $\text{Cu} > \text{Hg} > \text{Cd} > \text{Ni} > \text{Zn}$, pričom toxický účinok medi bol o rád vyšší ako toxický účinok Ni a Zn [10].

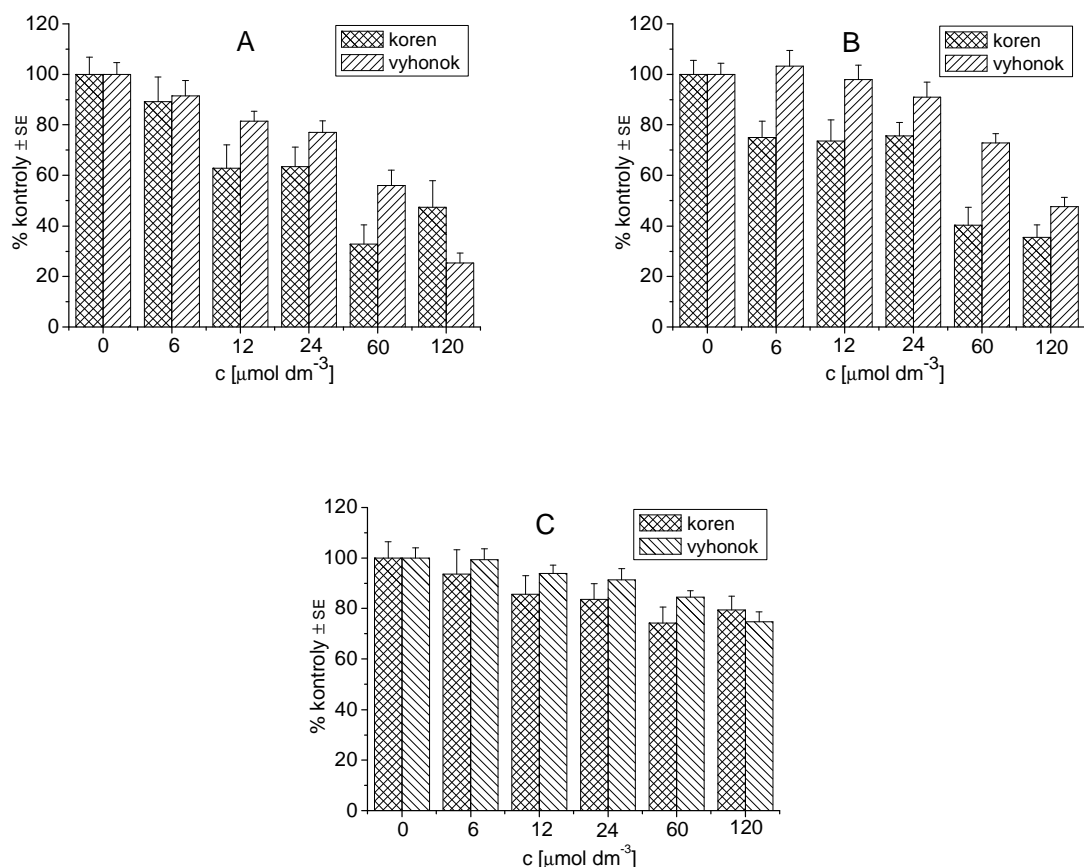


Obr. 1: Závislosť dĺžky koreňa (1) a výhonku (2) rastlín repky olejky (vyjadrené v percentách kontroly) po 72 hod. klíčeni v tme od aplikovanej koncentrácie Cd; SE– štandardná chyba priemeru.

U trojtýždňových rastlín repky olejky, ktoré sa pestovali hydroponicky v prítomnosti Cd po dobu ďalších 7 dní sa v prípade aplikácie nižších koncentrácií Cd (6, resp. 12 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) toxický účinok Cd na korene a výhonky rastlín repky olejky neprejavil, lokálne symptómy chlorózy na listoch sa však objavili už pri aplikácii koncentrácie 24 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Cd, pričom s ďalším zvyšovaním koncentrácie kadmia bola chloróza výraznejšia. Rastliny pestované v prítomnosti 60 a 120 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Cd mali znížený počet pravých listov a ich korene boli mierne sfarbené do hneda. Závislosť dĺžky koreňov a výhonkov, ako aj čerstvej a suchej hmotnosti koreňov a výhonkov rastlín repky olejky od aplikovanej koncentrácie Cd je znázornená na obr. 2. So zvyšovaním aplikovanej koncentrácie Cd dochádzalo k postupnej redukcii sledovaných parametrov v porovnaní s kontrolou. Z obrázku je zrejmé, že korene rastlín reagovali na toxický účinok Cd citlivejšie ako výhonky, pričom redukcia čerstvej i suchej hmotnosti koreňa bola vyššia ako redukcia dĺžky koreňa. Redukcia biomasy v dôsledku toxického účinku Cd môže byť priamym dôsledkom inhibície syntézy chlorofylu [11] a fotosyntézy [12].

Na obr. 3 je znázornená závislosť koncentrácie asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b*, karotenoidy) v listoch repky olejky v závislosti od aplikovanej koncentrácie Cd. Výrazný pokles koncentrácie asimilačných pigmentov sa pozoroval už v prítomnosti 6 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Cd, s ďalším zvyšovaním koncentrácie kovu v hydroponickom roztoku koncentrácia asimilačných pigmentov postupne pozvoľne klesala. Najvýraznejší pokles sa pozoroval v prípade chlorofylu *b*. Je známe, že Cd ovplyvňuje biosyntézu chlorofylu a inhibuje protochlorofylreduktázu a syntézu kyseliny aminolevulovej [13]. Pokles obsahu chlorofylu v

dôsledku stresu indukovaného Cd môže byť teda spôsobený inhibíciou enzýmu, ktorý je zodpovedný za biosyntézu chlorofylu. Porovnateľný pokles obsahu asimilačných pigmentov vplyvom Cd pozorovali aj v prípade rastlín *Brassica juncea* [14]. Výraznejší pokles obsahu chlorofylu *b* v porovnaní s chlorofylom *a* v dôsledku aplikácie Cd potvrdili napr. aj Gil et al. [15] v prípade rajčiakov a Moreno-Caseles et al. [16] v prípade uhoriek.

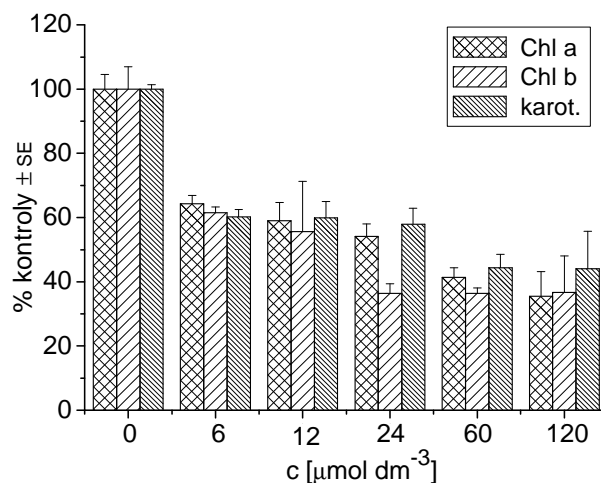


Obr. 2: Závislosť čerstvej (A) a suchej hmotnosti (B), ako aj dĺžky (C) koreňa a výhonku rastlín repky olejky (vyjadrených v percentách kontroly) kultivovaných 7 dní v prítomnosti Cd od aplikovanej koncentrácie Cd; SE – štandardná chyba priemeru.

V študovanom koncentračnom intervale 0-120 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$ Cd sa obsah Cd akumulovaný v koreňoch a listoch zvyšoval lineárne. Akumulácia kovu v koreňoch bola približne 4 až 6-krát vyššia ako vo výhonkoch. Zatiaľ čo pri aplikácii 6 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$ Cd bol obsah Cd v koreňoch 294 mg .kg^{-1} a vo výhonkoch 50,5 mg.kg^{-1} , pri aplikácii 120 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$ Cd sa príslušné obsahy Cd v rastlinných orgánoch zvýšili na 4636, resp. 1012 mg.kg^{-1} .

U rastlín pestovaných v prítomnosti 6-120 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$ sa bioakumulačné faktory (BAF) stanovené pre korene rastlín pohybovali v intervale 436 až 343, avšak príslušné BAF stanovené pre výhonky dosahovali rovnakú hodnotu BAF = 75. Pri aplikácii 6 $\mu\text{mol.dm}^{-3}$ Cd

bol podiel Cd vo výhonkoch vzhľadom k celkovému množstvu kovu akumulovaného rastlinou 82,8 %, v prípade aplikácie $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ tento podiel dosahoval 85,7 %. Vysoký podiel Cd z celkového akumulovaného množstva kovu nachádzajúci sa vo výhonkoch rastlín je spôsobený predovšetkým významným rozdielom suchých hmotností rastlinných orgánov, keď v porovnaní s hmotnosťou koreňa bola hmotnosť výhonku viac ako dvadsaťnásobná.



Obr. 3: Závislosť koncentrácie chlorofylu *a*, chlorofylu *b* a karotenoidov v listoch repky olejky (vyjadrených v percentách kontrolly) od aplikovanej koncentrácie Cd; SE – štandardná chyba priemeru.

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že rastliny repky olejky, cv. Oponent sú významným akumulátorom Cd a pre tieto rastliny je charakteristická vysoká miera translokácie tohto kovu do výhonkov. Podľa Salta et al. [17] bioakumulačné faktory v prípade rastlín *Brassica juncea* dosahovali hodnoty až 1100 pre výhonky a 6700 pre korene pri aplikácii nefytotoxických koncentrácií Cd ($0,1 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) v roztoku. Títo autori potvrdili, že bioakumulácia Cd súvisela s rýchlou akumuláciou fytochelátínov v koreni, kde bola prevažná časť Cd koordinovaná s S-donorovými ligandmi, pravdepodobne ako Cd-S₄ komplex.

Záver

Štúdium vplyvu kadmia na rastliny novej českej odrody repky olejky Oponent potvrdilo, že aplikácia kovu redukovala dĺžku a tiež čerstvú i suchú hmotnosť rastlinných orgánov, pričom inhibičný účinok Cd sa so zvyšujúcou sa koncentráciou kovu v roztoku zvyšoval. Na toxický účinok Cd citlivejšie reagovali korene rastlín. V dôsledku aplikácie Cd dochádzalo k výraznému poklesu obsahu asimilačných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b*, karotenoidy) v listoch rastlín. Odroda repky olejky Oponent je významným akumulátorom

Cd, pričom pre tieto rastliny je charakteristická vysoká miera translokácie tohto kovu do výhonkov.

Pod'akovanie

Prácu finančne podporila Sanofi Aventis Pharma Slovakia s.r.o..

Zoznam použitej literatúry

- [1] Wagner G. J. (1993) *Adv. Agron.* 51, p. 173
- [2] Yang X., Baligar V. C., Martens D. C., Clark R. B. (1995) *J. Environ. Sci. Heal. B* 30(4), p. 569
- [3] Fargašová A. (2000) Využívanie ekotoxikologických testov pri stanovovaní toxicity kovov na vybrané zložky životného prostredia. Doktorská dizertačná práca, Chemickotechnologická fakulta STU, Bratislava.
- [4] di Toppi L. S., Gabbrielli R. (1999) *Environ. Exp. Bot.* 41(2), p. 105
- [5] Benavides M. P., Gallego S. M., Tomaro M. L. (2005) *Braz. J. Plant. Physiol.* 17(1), p. 21
- [6] Marchiol L., Assolari S., Sacco P., Zerbi G. (2004) *Environ Pollut.* 132(1), p. 21
- [7] Grispen V. M. J., Nelissen H. J. M., Verkleij J. A. C. *Environ Pollut.* (2006) 144(1), p. 77
- [8] Lichtenthaler H. K. (1987) *Methods Enzymol.* 148, p. 350
- [9] Yadav P., Srivastava A.K. (1998) *J. Environ. Biol.* 19(1), p. 25
- [10] Masarovičová E., Peško M., Kráľová K. (2009) 29th International Symposium Industrial Toxicology '09, Proceedings, Svit, SR, p. 107
- [11] Padmaja K., Prasad D. D. K., Prasad A. R. K. (1990) *Photosynthetica* 24(3), p. 399
- [12] Baszynski T. (1986) *Acta Soc. Bot. Pol.* 55(2), p. 291
- [13] Stobart A. K., Griffiths W. T., Ameen-Bukhari I., Sherwood R P. (1985) *Physiol. Plant.* 63(3), p. 293
- [14] Šimonová E., Henselová M., Masarovičová E., Kohanová J. (2007) *Biol. Plant.* 51(3), p. 488
- [15] Gil J., Moral R., Gomez I., Navarropedreno J., Mataix J. (1995) *Fresen. Environ. Bull.* 4(7), p. 430
- [16] Moreno-Caselles J., Moral R., Perez-Espinosa A., Perez-Murcia M. D. (2000) *J. Plant Nutr.* 23(2), p. 243
- [17] Salt D. E., Prince R. C., Pickering I. J., Raskin, I. (1995) *Plant Physiol.* 109(4), p. 1427