

OBSAH CHLOROFYLU, KADMIA A ZINKU V LISTOCH SLNEČNICE V PODMIENKACH Cd A Zn STRESU

LADISLAV DUCSAY

Katedra agrochémie a výživy rastlín, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 976 01 Nitra, Slovensko
ladislav.ducsay@uniag.sk

Došlo 11.11.09, prepracované 12.7.10, prijaté 23.7.10.

Kľúčové slová: chlorofyl, zinok, kadmium, slnečnica

Úvod

Kadmium (Cd) je neesenciálny prvok pre rastliny a je považovaný za jeden z najtoxickejších ťažkých kovov v prostredí vďaka jeho vysokej mobilite v prostredí a schopnosťou vyvolávať toxicitu už pri nízkych koncentráciách v organizmoch.

Zinok (Zn) je esenciálny mikroprvok pre rastliny, ale môže pôsobiť aj toxicky, ak sa v organizmoch nachádza vo vysokých koncentráciách. Kadmium a zinok majú podobné geochemické a environmentálne vlastnosti, pričom táto asociácia Cd a Zn v prostredí a ich chemická podobnosť môže viesť k vzájomným interakciám počas príjmu rastlinami, transporte z koreňov do nadzemných častí rastlín alebo akumulácie v jedlých častiach a tak vstupovať do potravinového reťazca¹. Práce zamerané na pochopenie interakcií medzi Cd-Zn sú vo výsledkoch často rozporuplné. V niektorých prácach sa uvádza, že Zn (resp. Cd) potláča bioakumuláciu Cd (resp. Zn) znížením jeho príjmu (antagonistické interakcie²), zatiaľčo v iných sa uvádza, že Zn (resp. Cd) podporuje bioakumuláciu Cd (resp. Zn) zvýšením jeho príjmu (synergické interakcie³). Akumulácia Cd a Zn v rastlinách a ich následná fytotoxicita závisí od rastlinného druhu a odrody^{4,5}.

Rastliny sú v priebehu svojho života vystavené pôsobeniu mnohých stresových faktorov biotickej a abiotickej povahy (napr. ťažké kovy), ktoré môžu nielen spomaľovať ich životné funkcie, ale takisto poškodzovať jednotlivé orgány a v krajnom prípade viesť k uhynutiu rastliny. Pôsobenie stresových faktorov môže vyvolávať u rastlín oxidatívny stres, charakteristický prudkou prechodnou tvorbou veľkého množstva aktívnych foriem kyslíka (AFK) a k porušeniu rovnováhy medzi produkciou a odbúraním AFK^{6,7}. Najznámejšie AFK v rastlinách sú singletový kyslík ($^1\text{O}_2$), superoxidový anión – radikál ($\text{O}_2^{\bullet-}$), hydroxylový radikál (OH^{\bullet}), hydroxylový ión (OH^-), perhydroxylový radikál ($\text{O}_2\text{H}^{\bullet}$) a peroxid vodíka (H_2O_2), ktoré sa pravidelne tvoria v rastlinných bunkách, hlavne v chloro-

plastoch, peroxizómoch a mitochondriách počas normálneho metabolizmu. AFK na jednej strane fungujú v rastlinách ako signálne molekuly, ale na strane druhej môžu pri nadmernej a nekontrolovanej tvorbe rastlinnú bunku ohroziť svojou toxicitou^{8,9}.

Sprievodným javom fytotoxicity stopových rizikových prvkov v rastlinách, môže byť popri retardácii úrod dopestovanej fyto-masy a následnej akumulácii prvkov v sušine, aj narušená tvorba niektorých rastlinných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy). Expozícia rastlín kadmium ovplyvňuje syntézu chlorofylov v negatívnom smere^{10,11}. Znížený obsah chlorofylov v listoch môže byť spôsobený buď dôsledkom enzymatickej degradácie tohto pigmentu, alebo dôsledkom inhibície jeho biosyntézy¹². Kadmium sa môže akumulovať vo vyšších množstvách v nadzemných orgánoch, prednostne v chloroplastoch a narušiť tak aktivitu enzýmov chlorofylovej biosyntézy a CO_2 fixácie¹³. Pridanie kadmia vo forme CdCl_2 ($0,5 \text{ mmol}^{-1}$) inhibovalo tvorbu chlorofylu v zelených častiach listov kukurice, ale nižšia koncentrácia Cd ($0,01 \text{ mmol}^{-1}$) spôsobila jeho nepatrné zvýšenie. Prítomné kadmium inhibovalo aktivitu dehydratázy δ -aminolevulovej kyseliny (ALAD) a tvorbu δ -aminolevulovej kyseliny (ALA)¹⁴. Olovo prijaté mladými rastlinami uhoriek (*Cucumis sativus* L.), ktoré boli pestované v roztoku s koncentráciou 10^{-3} a 10^{-4} mol^{-1} PbCl_2 spôsobilo inhibíciu syntézy ALA, redukciiu aktivity ALAD a obsahu chlorofylu v klíčnych lístkoch¹⁵.

Cieľom práce bolo zistiť kvantitatívne zmeny v obsahoch kadmia, zinku a rastlinných pigmentov (chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy) v listoch slnečnice pestovanej v podmienkach (Cd) a (Zn) stresu.

Experimentálna časť

Rastlinný materiál a podmienky rastu

Do plastových nádob s objemom 1,5 litra sme navažovali 0,5 kg kremičitého piesku a 0,5 kg pôdy (preosiatej cez sito s veľkosťou otvorov 0,5 cm), ktorej fyzikálno-chemická charakteristika je uvedená v tabuľke I. Testovaná plodina bola slnečnica ročná (*Helianthus annuus* L.).

Tabuľka I

Výsledky chemickej analýzy pôdy pred založením pokusu (stanovené metodikou Mehlich II)

Druh rozboru pôdy	Hodnota
pH/KCl, jednotky pH	6,83
Fosfor, mg kg^{-1}	57,2
Draslík, mg kg^{-1}	185,6
Zinok ^a , v mg kg^{-1}	42,5
Kadmium ^a , mg kg^{-1}	0,10

^a Extrakciou pôdy $2 \text{ mol l}^{-1} \text{ HNO}_3$

Rastliny sme pestovali 21 dní pod žiarivkovým osvetlením, pre každý variant v piatich opakovaníach pri prirodzených podmienkach dňa a noci s dennou/nočnou teplotou $25/20 \pm 0,5$ °C. Po aplikovaní živín Knoppovým roztokom [zloženie Knoppovho roztoku: (1000 ml destilovanej H_2O) 1 g $Ca(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$; 0,25 g KH_2PO_4 ; 0,511 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$; 0,125 g KCl ; 0,25 g KNO_3 ; 5 kvapiek 10% $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$; 0,4 mg $Na_2B_4O_7$; 0,3 mg $MnSO_4$] v dávke 100 ml na nádobu a soli kadmia a zinku sme vysievali do substrátu semená modelovej plodiny. Vlhkosť substrátu sme udržiavali na 75 % maximálnej vodnej kapacity. Po 21 dňovej vegetačnej dobe sme rastliny zbierali a zisťovali obsah kadmia, zinku, chlorofylu a karotenoidov.

Analytické metódy

Pôda. Pôda bola extrahovaná podľa Mehlich II ($0,2 \text{ mol l}^{-1} CH_3COOH$, $0,015 \text{ mol l}^{-1} NH_4F$, $0,2 \text{ mol l}^{-1} NH_4Cl$ a $0,012 \text{ mol l}^{-1} HCl$). Stanovenie obsahu prístupného fosforu vo výluhu bolo uskutočnené spektrofotometricky a draslíka plameňovou fotometriou. Obsah Cd a Zn v pôde bol stanovený atómovou absorpčnou spektrofotometriou (AAS) na prístroji PYE UNICAM SP 9 z extrakčného roztoku, ktorý bol pripravený extrakciou pôdy $2 \text{ mol l}^{-1} HNO_3$.

Rastlinný materiál. Po vysušení a zomletí rastlinného materiálu a zmineralizovaní suchou cestou pri teplote 490 ± 20 °C a prevedení popola do roztoku pomocou HNO_3 (36%), sme obsah Cd a Zn stanovovali atómovou absorpčnou spektrofotometriou (AAS) na prístroji PYE UNICAM SP 9.

Stanovenie fotosyntetických pigmentov. Obsahy chlorofylu *a* (Chl *a*), chlorofylu *b* (Chl *b*) a celkových karotenoidov boli stanovené v čerstvej hmote listov po extrakcii 80% acetónom [(100 mg čerstvej hmoty a 80% acetón (2,5 + 2,5 ml)]. Extrakcia pigmentu trvala dovtedy, keď bola všetka homogenizovaná rastlinná hmota bielej farby. Následne po krátkej centrifugácii (2 min pri 2000 x g) sme stanovenie koncentrácie pigmentu uskutočnili spektrofotometricky (Jenway 6405 UV Vis., UK) meraním absorban- cie pigmentov v acetónovom extrakte pri vlnových dĺž-

kach 470 (celkové karotenoidy), 647 (chl *b*) a 663 nm (chl *a*)¹⁶. Koncentrácie pigmentov sú vypočítané podľa rovníc¹⁷:

$$\text{chlorofyl } a = 12,25(A_{663}) - 2,79(A_{647}) \quad [\text{mg l}^{-1}]$$

$$\text{chlorofyl } b = 21,5(A_{647}) - 5,10(A_{663}) \quad [\text{mg l}^{-1}]$$

$$\text{chl } a + \text{chl } b = 7,15(A_{663}) + 18,71(A_{647}) \quad [\text{mg l}^{-1}]$$

$$\text{celkové karotenoidy} = [1000(A_{470}) - 1,82(\text{chl } a) - 85,02(\text{chl } b)]/198 \quad [\text{mg l}^{-1}]$$

Dosiahnuté výsledky sme vyhodnotili štatisticky metódou analýzy variancie LSD testom.

Forma dávkovania zlúčenín kadmia a zinku

V laboratórnom vegetačnom teste sme použili štyri varianty pokusu: variant 1 – kontrola – Knoppov roztok v dávke 100 ml kg^{-1} , variant 2 – Knoppov roztok + 20 mg Cd kg^{-1} , variant 3 – Knoppov roztok + 20 mg Zn kg^{-1} , variant 4 – Knoppov roztok + 20 mg Cd kg^{-1} + 20 mg Zn kg^{-1} . Soli kadmia a zinku sme aplikovali vo forme roztokov ako $CdCl_2 \cdot \frac{1}{2} H_2O$ a $Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2 H_2O$.

Výsledky a diskusia

Obsah rastlinných pigmentov

Pokles obsahu chlorofylu je bežným prejavom expozície rastlín k niektorým kovom¹⁸. Pri sledovaní celkového obsahu Chl (*a* + *b*) v čerstvej hmote listov slnečnice (tab. II) vyplýva, že vplyvom individuálnej aplikácie 20 mg Cd kg^{-1} a 20 mg Zn kg^{-1} (var. 2 a 3) došlo k ich poklesu v porovnaní s kontrolným variantom o 7 % resp. 3,3 %. Rastliny slnečnice pestované 7 dní v plastových nádobách s vermikulitom boli zalievané Hoaglandovým roztokom (kontrola). Ďalších 10 dní boli zalievané Hoaglandovým roztokom s pridaním $0,5 \text{ mmol l}^{-1} CdCl_2$. Po 10 dňovej expozícii kadmium, rastliny obsahovali o 42 % chlorofylu menej v porovnaní s kontrolou¹⁹. Obsah Chl *a* bol na variante s pridaným Cd nižší o 6 %, ale Chl *b* o 9,2 % a preto pomer Chl *a*:*b* bol vyšší (2,275) v porovnaní s kontrolným variantom. Pri individuálnej

Tabuľka II

Priemerné obsahy rastlinných pigmentov v listoch slnečnice (mg g^{-1} čerstvej hmoty) vplyvom aplikovaných dávok zlúčenín kadmia a zinku

Variant	Obsah rastlinných pigmentov v listoch slnečnice [mg g^{-1} čerstvej hmoty]				
	chlorofyl <i>a</i>	chlorofyl <i>b</i>	chlorofyl <i>a</i> + <i>b</i>	pomer chlorofyl <i>a</i> / <i>b</i>	karotenoidy
1	$0,334 \pm 0,018^a$	$0,152 \pm 0,016^a$	$0,486 \pm 0,036^a$	$2,197 \pm 0,094^a$	$0,216 \pm 0,012^a$
2	$0,314 \pm 0,026^{ab}$	$0,138 \pm 0,010^{ab}$	$0,452 \pm 0,036^{ab}$	$2,275 \pm 0,040^a$	$0,196 \pm 0,014^{ab}$
3	$0,324 \pm 0,018^a$	$0,146 \pm 0,008^{ab}$	$0,470 \pm 0,024^{ab}$	$2,219 \pm 0,064^a$	$0,206 \pm 0,014^{ab}$
4	$0,290 \pm 0,016^b$	$0,132 \pm 0,008^b$	$0,422 \pm 0,020^b$	$2,197 \pm 0,078^a$	$0,190 \pm 0,012^b$

^{a,b} Varianty označené rovnakými písmenami sa od seba štatisticky preukazne neodlišujú na hladine významnosti $\alpha = 0,05$

aplikácii Zn došlo k redukcii Chl *a* a Chl *b* o 3 % resp. 3,9 %. Pokles celkového obsahu Chl (*a+b*) s výraznejším poklesom Chl *b* v porovnaní s Chl *a* a následne vyšším pomerom Chl *a:b* na variantoch so stúpajúcimi dávkami kadmia v porovnaní s kontrolným variantom bol zistený pri horčici²⁰. Obsah karotenoidov na variante s Cd resp. Zn, bol 0,196 mg g⁻¹ resp. 0,206 mg g⁻¹, čo predstavovalo pokles o 9,3 % resp. 4,6 % v porovnaní s kontrolným variantom. Štatisticky preukaznú redukciiu Chl *a*, Chl *b* a karotenoidov sme zistili na variante pri spoločnej aplikácii Cd + Zn (var. 4). Obsahy 0,290; 0,132 resp. 0,190 mg g⁻¹ boli nižšie o 13,2 %, 13,2 % resp. 12 % v porovnaní s kontrolným variantom. Pri plodinách amarantu po aplikovaní dávky 20 mg Cd kg⁻¹ substrátu vo forme CdCl₂, sa zistil pokles Chl *a* z hodnoty 1,7 g kg⁻¹ čerstvej hmoty (kontrolný variant) na hodnotu 1,4 g kg⁻¹ čerstvej hmoty, Chl *b* z hodnoty 1,0 g kg⁻¹ na hodnotu 0,7 g kg⁻¹ čerstvej hmoty a karotenoidov z 0,5 g kg⁻¹ na 0,4 g kg⁻¹ čerstvej hmoty. Pomer Chl *a:b* sa zvýšil z 1,729 na 1,957 (cit.²¹). Jednomesačné rastliny fúzovca (*Vetiveria zizanoides*) boli počas 15 dní v hydroponických podmienkach ošetrované Hoaglandovým roztokom spoločne s prídavkom Cd(NO₃)₂ · 4 H₂O. Obsahy Chl *a* a Chl *b* sa pri nízkych koncentráciách kadmia v roztoku zvyšovali a najvyššie hodnoty sa zistili (1,903 resp. 0,309 mg g⁻¹ čerstvej hmoty) pri 1 mg Cd l⁻¹. Naopak pri koncentrácii 30 mg Cd l⁻¹ bol zistený pokles obsahu Chl *a* a Chl *b* o 11,3 % resp. 12,99 % v porovnaní s kontrolným variantom²². Pri koncentrácii 108 μmol Pb l⁻¹ v živnom roztoku došlo k poklesu obsahu chlorofylu v nadzemných častiach jačmeňa jarného o 30 %, pričom sa zvyšoval pomer Chl *a:b* v dôsledku poklesu Chl *b* (cit.²³). Proces starnutia zapríčiňuje riadenú premenu Chl *b* na Chl *a*. Konverzia Chl *b* na Chl *a* je teda nevyhnutným prvým krokom pre katabolizmus chlorofylu počas starnutia, pretože enzýmy zodpovedné za tento proces sú špecifické pre katabolitu Chl *a* a nie Chl *b*. Vedecké štúdie dokazujú, že metabolizmus chlorofylu je dynamický proces, reagujúci na potrebnú úpravu pomeru Chl *a:b* s cieľom prispôbiť sa vonkajšej expozícii. Chloróza je symptómom toxicity ťažkými kovmi a tiež zapríčiňuje stratu chlorofylu z listov. Okrem inhibície chlorofylovej syntézy, obidva prvky Cd a Zn vyvolávajú premenu Chl *b*

na Chl *a* u kapusty sitinovej (*Brassica juncea*) podobne ako to je pri reakcii na starnutie. Toto je relatívne nový poznatok, ktorý predpokladá určité prekrytie medzi dráhami kontrolujúcimi proces starnutia a odpoveďou organizmu rastlín na ožiarenie, expozíciu ťažkých kovov a iných stresov²⁴.

Akumulácia Cd a Zn listami slnečnice

Pri individuálnej aplikácii Cd a Zn došlo k ich štatisticky významnej akumulácii na 17,23 mg Cd kg⁻¹ resp. 112,3 mg Zn kg⁻¹ sušiny nadzemnej fyto-masy slnečnice v porovnaní s kontrolou (tab. III). Pri hydroponickom pestovaní slnečnice sa po aplikácii kadmia v dávke 20 mg l⁻¹ zistil obsah 327,37 mg Cd kg⁻¹ sušiny nadzemnej fyto-masy²⁵. Na variante 4, kde bola spoločná aplikácia Cd+Zn v pomere Cd:Zn = 1:1, sme zistili štatisticky významné zvýšenie obsahu kadmia o 17,2 % a štatisticky významné zníženie obsahu zinku o 17,2 % v porovnaní s ich individuálnou aplikáciou. V mnohých prácach^{26–28} sa uvádza evidentný pokles obsahu kadmia v sušine rastlín po pridaní zinku do pestovateľského substrátu. Avšak interakcie Zn-Cd sú rozdielne v závislosti od rastlinného druhu²⁹ a príjem kadmia a zinku rastlinou závisí aj od pomeru Zn : Cd v pôde³⁰. Dôsledkom spoločnej aplikácie kadmia a zinku v pomere 2:1 a v prítomnosti EDTA sa zistila redukcia koncentrácie zinku a zvýšená akumulácia kadmia v nadzemnej fyto-mase fúzovca³¹.

Po 14 dňovom pestovaní rastlín kukurice v živnom roztoku s koncentráciou Cd (0,001–25 μmol l⁻¹) sa zistilo preukazné zmenšenie dĺžky nadzemných častí rastlín a zníženie hmotnosti sušiny listov iba pri koncentrácii 25 μmol l⁻¹, zatiaľčo koncentrácia chlorofylu klesala už od koncentrácie 1,7 μmol Cd l⁻¹. Aktivita peroxidázy (POD) sa zvýšila, ale na druhej strane sa zistil pokles aktivity glukózo-6-fosfát dehydrogenázy (G6PDH). V závislosti od vzťahu medzi aktivitou POD a obsahom kadmia, bola určená kritická hranica toxicity pri 3 mg Cd kg⁻¹ sušiny tretieho listu a 5 mg Cd kg⁻¹ sušiny štvrtého listu. Na rozdiel od parametrov rastu, meranie aktivity enzýmov sa môže využiť na včasné určenie biomarkerov pri analýzach rastlín, pre následné posúdenie fytotoxicity rastlín kukurice

Tabuľka III

Priemerné obsahy kadmia a zinku v listoch slnečnice (mg Cd a Zn kg⁻¹ sušiny) vplyvom aplikovaných dávok zlúčenín kadmia a zinku

Variant	Obsah kadmia a zinku v listoch slnečnice [mg Cd a Zn kg ⁻¹ sušiny]	
	Cd	Zn
1	0,35 ± 0,058 ^a	38,70 ± 1,64 ^a
2	17,23 ± 0,650 ^b	40,70 ± 1,26 ^a
3	0,50 ± 0,092 ^a	112,30 ± 2,24 ^b
4	20,20 ± 0,778 ^c	93,03 ± 2,18 ^c

^{a,b,c} Varianty označené rovnakými písmenami sa od seba štatisticky preukazne neodlišujú na hladine významnosti $\alpha = 0,05$

pestovaných na pôdach kontaminovaných kadmíom³². Pri rastlinách pšenice pestovaných 21 dní v živnom roztoku s koncentráciou Cd (0,25–5 mg l⁻¹) sa zistilo, že účinky kadmia na rast, produktivitu biomasy, minerálnych živín, biosyntézu chlorofylu, bielkovín, voľných aminokyselín, škrobu a rozpustných cukrov prispeli k vytvoreniu celkového obrazu toxicity kadmia na štrukturálnych a funkčných úrovniach³³.

Záver

Z výsledkov laboratórneho vegetačného testu so slnečnicou ročnou pestovanej v podmienkach (Cd) a (Zn) stresu vyplynulo, že redukcia celkového chlorofylu a karotenoidov klesala v poradí: Cd+Zn > Cd > Zn. Vplyvom individuálnej aplikácie Cd sme zistili výraznejšiu redukciu Chl *b* v porovnaní s Chl *a*. V jednotlivých variantoch koncentrácia kadmia a zinku v sušine nadzemnej fyto-masy klesala v poradí: Cd+Zn > Cd > Zn resp. Zn > Cd+Zn > Cd.

Práca bola podporená grantovými projektmi VEGA č. 1/0435/08 a VEGA č. 1/0568/11.

LITERATÚRA

- Merian E.: *Metals and Their Compounds in the Environment*. Verlagsgesellschaft VCH, Weinheim 1991.
- Seebaugh D. R., Wallace W. G.: *Mar. Ecol.: Prog. Ser.* 272, 215 (2004).
- Ahsanullah M., Negilski D. S., Mobley M. C.: *Mar. Biol.* 64, 311 (1981).
- He P. P., Lv X. Z., Wang G. Y.: *Environ. Int.* 30, 167 (2004).
- Liu J., Li K., Xu J., Liang J., Lu X., Yang J., Zhu Q.: *Field Crop Res.* 83, 271 (2003).
- Piterková J., Tománková K., Luhová L., Petřivalský M., Peč P.: *Chem. Listy* 99, 455 (2005).
- Janeczko A., Koscielniak J., Pilipowicz M., Szarek-Lakaszewska G., Skoczowski A.: *Photosynthetica* 43, 293 (2005).
- Scandalios J. G.: *Adv. Genet.* 28, 1 (1990).
- Monteiro M. S., Santos C., Soares A. M. V. M., Mann R. M.: *Ecotoxicol. Environ. Safety* 72, 811 (2009).
- Burton K. W., King S. B., Morgan B.: *Water Air Soil* 27, (1986).
- Krupa Z., Uquist G., Huner N. P. A.: *Physiol. Plant.* 88, 626 (1993).
- Jiang H. M., Yang J. C., Zhang J. F.: *Environ. Pollut.* 147, 750 (2007).
- Siedlecka A., Krupa Z., Samuelsson G., Oquist G., Gardstrom P.: *Plant Physiol. Biochem.* 35, 951 (1997).
- Jain M., Pal M., Gupta P., Gadre R.: *Indian J. Exp. Biol.* 45, 385 (2007).
- Burzyński M.: *Acta Soc. Bot. Pol.* 54, 95 (1985).
- Šesták Z., Čatský J.: *Metody studia fotosyntetické produkce rostlin*. Academia, Praha 1966.
- Lichtenthaler H. K.: *Methods Enzymol.* 148, 350 (1987).
- Ünyayar S., Keles Y., Cekic F.Ö.: *Plant Soil Environ.* 51, 57 (2005).
- Laspina N. V., Groppa N. D., Tomaro M. L., Benavides M. P.: *Plant Sci.* 169, 323 (2005).
- Mobin M., Khan N. A.: *J. Plant Physiol.* 164, 601 (2007).
- Rai V., Khatoon S. K., Bisht S. S., Mehrotra S.: *Chemosphere* 61, 1644 (2005).
- Aibibu N., Liu Y., Zeng G., Wang X., Chen B., Song H., Xu L.: *Bioresour. Technol.* 101, 6297 (2010).
- Stiborová M., Doubravová M., Březinová A., Friedrich A.: *Photosynthetica* 20, 418 (1986).
- Ebbs S., Uchil S.: *Photosynthetica* 46, 49 (2008).
- Niu Z., Sun L., Sun T., Li Y., Wang H.: *J. Environ. Sci.* 19, 961 (2007).
- Abdel-Sabour M. F.: *Soil Sci.* 145, 424 (1988).
- Costa G., Morel J. L.: *J. Plant Nutr.* 16, 1921 (1993).
- Symeonidis L., Karataglis S.: *J. Agron. Crop Sci.* 168, 112 (1992).
- Erikson J. E.: *Water, Air, Soil Pollut.* 53, 69 (1990).
- Xu W.H., Wang H.X., Liu H., Xiong Z.T., Singh B.: *Asian J. Ecotoxicol.* 1, 70 (2006).
- Xu W., Li W., He J., Balwant S., Xiong Z.: *J. Environ. Sci.* 21, 186 (2009).
- Lagriffoul A., Mocquot B., Mench M., Vangronsveld J.: *Plant Soil* 200, 241 (1998).
- Shukla U. C., Singh J., Joshi P. C., Kakkar P.: *Biol. Trace Elem. Res.* 92, 257 (2003).

L. Ducsay (*Department of Agrochemistry and Plant Nutrition, University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*): **The Chlorophyll, Cadmium and Zinc Contents in Sunflower Leaves under Cadmium and Zinc Stress Conditions**

In short-term laboratory tests, changes in Cd, Zn and plant pigment (chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids) contents in leaves of sunflower grown under Cd and Zn stress conditions were investigated. CdCl₂ and Zn acetate solutions were applied in the amounts 20 mg Cd or Zn per kg of soil. The presence of Cd or Zn lowered the contents of chlorophylls a and b by 6 % or 9.2 %, respectively. Statistically significant reduction of both chlorophylls and carotenoids was observed in the treatment with Cd and Zn. Total chlorophyll and carotenoids contents decreased in the order: Cd and Zn > Cd > Zn. A statistically significant increase in the Cd content of 17.2 % and reduction in the Zn content of 17.2 % were observed by application of Cd and Zn (1:1).