

Vplyv ťažkých kovov na rast a metabolizmus repy cukrovej

INFLUENCE OF HEAVY METALS ON GROWTH AND METABOLISM OF SUGAR BEET

Beáta Piršelová, Marcel Roszival, Veronika Kubová

Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky

Ekologické riziká z kumulácie ťažkých kovov v pôde sa odrážajú na schopnosti pôd poskytovať hygienicky neškodné potraviny. Platí to najmä pre obsahy ťažkých kovov s vysokým stupňom biotoxicity. Medzi ťažké kovy sa zaraďujú biologicky nezastupiteľné mikroelementy (napr. Cu, Zn, Mn a i.), ako i početné neesenciálne chemické prvky (Cd, Pb, Hg a i.) (1). Hlavnými antropogénnymi zdrojmi kontaminácie ťažkými kovmi je spaľovanie fosílnych palív, doprava, priemyselná výroba kovov, nadmerné používanie minerálnych hnojív a iných agrochemikálií, aplikácia čistiarenských kalov do pôdy. Napriek tomu, že nakladanie s odpadmi podlieha právnym predpisom, ich použitie môže predstavovať riziko akumulácie niektorých prvkov v rastlinách. Použitie čistiarenských kalov sa napr. v prípade repy neodporúča, nakoľko predstavuje riziko akumulácie chrómu, olova a kadmia (2).

Pomerne málo štúdií sa doteraz venovalo hodnoteniu vplyvu ťažkých kovov na rast a metabolizmus repy cukrovej, oveľa viac štúdií sa zameriava na hodnotenie vplyvu sucha a zasoľenia. Cukrová repa je plodina s veľkou biomasou a silnou schopnosťou adaptovať sa na životné prostredie, čo z nej robí vhodný cieľový druh pre fytoremediáciu, čo je vysoko efektívny, ekonomický a ekologický spôsob odstraňovania ťažkých kovov



z kontaminovaných pôd (3). Poznanie tolerancie repy na ióny ťažkých kovov umožňuje jednak zväziť riziká jej pestovania v metalicky zaťažených pôdach a jednak zvýšiť jej fytoremediálny potenciál. Daný príspevok je stručným zhrnutím poznatkov o vplyve ťažkých kovov na rast a metabolizmus repy cukrovej.

Prehľad štúdií o vplyve ťažkých kovov na rast a metabolizmus repy cukrovej

Medzi najviac študované ťažké kovy z hľadiska ich vplyvu na rast repy cukrovej patria zinok, kadmium a olovo. Oveľa menej štúdií existuje o vplyve ostatných ťažkých kovov (tab. I.).

Viacere štúdie poukázali na vysokú toleranciu repy cukrovej na nižšie dávky ťažkých kovov. Olovo a kadmium napr. v dávkach 1–2 mM Pb a 0,25 mM Cd neovplyvnilo rast a fotosyntetickú aktivitu repy cukrovej, v niektorých prípadoch bol dokonca pozorovaný nárast biomasy a tiež obsahu chlorofylov a proteínov (4–6). Vplyvom koncentrácií Pb 2–6 mM sa zvyšoval obsah prolínu a tiež aktivita katalázy a peroxidázy (7), ktoré sú zložkami obranného systému rastlín. Nízke dávky Cd pôsobili tiež stimulačne na aktivitu nitrátreduktázy a akumuláciu dusíka (8). Nízke koncentrácie zinku (0,5–2 kg·ha⁻¹) zvýšili výnosy cukrovej repy a vplyvom dávky 0,5 kg·ha⁻¹ sa zvýšil aj obsah cukru v bulvách (9). Stimulácia rastu repy bola tiež pozorovaná v prípade aplikácie kobaltu v dávkach 2,5–12,5 mg·kg⁻¹ pôdy (10), pričom najväčšia stimulácia sa prejavila pri dávke 7,5 ppm. Pri tejto dávke sa akumulovalo vyššie množstvo cukru, vitamínu C, uhľovodíkov, proteínov a minerálnych prvkov (Mn, Zn, Cu). Stimuláciu rastu repy vplyvom nízkych koncentrácií kobaltu zaznamenali aj ďalší autori (11, 12). KEVREŠAN ET AL. (13) sledovali vplyv niklu, kadmia a molybdénu (10⁻⁴, 10⁻², a 1 mM) na metabolizmus dusíka v listoch repy (*Beta vulgaris* cv. RuBPCO). Najvyššiu toxicitu na sledované parametre (obsah dusičnanov, aktivitu nitrátreduktázy a glutamínsyntetázy, pomer obsahu ribulóza-1,5-bisfosfátcarboxylázy/oxygenázy) vykazovalo kadmium, najnižšiu nikel. Molybdén pôsobil naopak stimulačne. Aplikácia určitých esenciálnych prvkov (napr. Zn, Mn, Cu, Co) vo forme hnojív je opodstatnená v prípade pôd chudobných na dané prvky a dosahuje sa ňou optimálna koncentrácia prvkov pre rast plodín. Viaceré štúdie poukázali na to, že zinok môže byť limitujúcim faktorom pre výnosy cukrovej repy najmä v alkalických pôdach (14, 15). V prípade neesenciálnych prvkov predstavuje stimulácia skôr určitú formu adaptácie na dané podmienky prostredia v zmysle hormetického prejavu (16).

Nižšie dávky kadmia (10 µM, 50 µM) však v iných štúdiách spôsobili hneďnutie koreňov, deštrukciu prieduchov, zníženie obsahu biomasy koreňov a výhonkov a tiež príjem niektorých minerálnych prvkov (5, 6, 17, 18). Inhibícia fotosyntézy ako dôsledok deficiencie železa vplyvom kadmia bola potvrdená vo viacerých štúdiách (5, 17, 19–21). Na negatívny účinok Cd, Zn a Co z hľadiska rastu repy poukázali aj iní autori (9, 21, 22). Zníženie toxicity Cd bolo pozorované aplikáciou kremíka (Si) do živného roztoku. Vplyvom Si (1 mM Na₂SiO₃) došlo k stimulácii antioxidantného systému repy, k indukcii syntézy proteínu BvHIPP32 viažúceho kovu a ku stabilizácii koncentrácie železa vo výhonkoch prostredníctvom zníženého transportu Cd do výhonkov (13).

Doterajšie štúdie teda naznačujú, že vplyv ťažkého kovu na rast a metabolizmus repy je závislý od koncentrácie daného kovu v pôde, od rastového média, spôsobu kultivácie a tiež od príslušného genotypu. Podľa PAPAZOGLOU A FERNANDO (23) vykazujú niektoré odrody repy toleranciu voči kadmii v dávkach do 245 mg·kg⁻¹ pôdy a niklu do 75,4 mg·kg⁻¹ pôdy. Na rozdiely v tolerancii rôznych odrôd repy na ióny kovov poukázali aj GERAKIS ET AL. (24).

Akumulácia ťažkých kovov v pletivách repy cukrovej

Repa cukrová sa v rámci niekoľkých experimentov hodnotila aj z hľadiska schopnosti kumulovať ťažké kovy vo svojich pletivách a teda sa hodnotil jej fyto-remediálny resp. fyto-stabilizačný potenciál.

SALETNIK ET AL. (25) hodnotili niekoľko odrôd repy cukrovej z hľadiska akumulácie olova, kadmia a ortute. Akumulačný potenciál vyjadrili bioakumulačným faktorom (BCF), ktorý vyjadruje množstvo kovu v nadzemnej časti rastliny oproti množstvu kovu v pôde. Hodnoty BCF zistené pre jednotlivé odrody uvádza tab. II. Hoci dané hodnoty BCF nedosahujú hodnoty 1 a viac, ktoré sa považujú za ideálne pre účely fyto-remediácie, niektoré odrody (s vyšším BCF) môžu byť vhodné pre fyto-stabilizáciu kontaminovaných pôd (26, 27). Remediálny potenciál repy pre Cd je tiež možné zvýšiť aplikáciou napr. dreveného uhlia do pôdy (28) alebo reguláciou zavlažovania počas vegetačného obdobia (29).

Na vhodnosť využitia repy pre účely fyto-remediácie a fytoextrakcie pre kadmium a nikel poukázali aj PAPAZOGLOU A FERNANDO (23), ktorí zaznamenali hodnoty translokačného faktora (pomer koncentrácie kovu v nadzemnej časti ku koncentrácii kovu v podzemnej časti) vyššie ako 1. SAGARDOY ET AL. (22) testovali akumulačný potenciál repy (*Beta vulgaris* var. *Canditiva* L.) pre zinok. Výsledky daných štúdií poukázali na to, že repa cukrová predstavuje vhodný model pre štúdium homeostázy zinku, avšak nie je vhodná pre účely fyto-remediácie tohto prvku. Sľubnú perspektívu z hľadiska využitia repy pre účely fyto-remediácie prinášajú moderné biotechnologické postupy. Nedávno boli vytvorené transgénne línie repy cukrovej, v ktorých sa zvýšila expresia génu pre *Streptococcus thermophilus*

Tab. I. Prehľad štúdií o vplyve ťažkých kovov na rast a metabolizmus repy cukrovej

Aplikovaná dávka kovu		Literatúra
Pb	0; 2 a 20 g·m ⁻²	Gerakis, 1980 (24)
Cd	0; 5 a 50 µM	Greger an Lindberg, 1987 (17)
Cd	1; 5; 20; 50 a 2 000 µM	Greger a Ogren, 1989 (19)
Cd	5; 10 a 20 µM	Greger et al., 1991 (20)
Cd	10 µM	Greger a Johansson, 1992 (26)
Cd	10; 100 a 100 µM	Petrovic et al., 1990 (8)
Ni, Cd, Mo	10 ⁻⁴ ; 10 ⁻² a 1 mM	Kevrešan et al., 1998 (13)
Cd (Cd-EDTA)	10 a 50 µM	Larbi et al., 2002 (5)
Zn	50; 100 a 300 µM	Sagardoy et al., 2009 (22)
Co	2,5; 5,0; 7,5; 10,0 a 12,5 mg·kg ⁻¹ pôdy	Gad a Ismail, 2011 (10)
Cd	0,25; 0,5; 1,0 a 2,0 mM	Tandon a Srivastava, 2014 (6)
Pb	2; 4; 6 mM	Naderi et al., 2013 (7)
Cd	10 a 100 mg·l ⁻¹	Sharma et al., 2014 (21)
Cd, Pb, Hg	20 mg·kg ⁻¹	Saletnik et al., 2016 (25)
Zn	0,5; 1,0; 1,5 a 2,0 kg·ha ⁻¹	Barlóg et al., 2016 (9)
Cd	0,5; 5 a 10 mg·kg ⁻¹	Papazoglou a Fernando, 2017 (23)
Cd	100 µM	Spiridonova et al., 2019 (34)
Cd	10 µM	Kabir et al., 2021 (18)

γ-glutamylcysteínsyntetáza-glutatiónsyntetázy (StGCS-GS), čím sa zvýšila syntéza glutatiónu a následne sa zvýšila tolerancia repy na Zn, Cd a Cu (27). Tým sa stala cukrová repa sľubným nástrojom fyto-remediácie pôd kontaminovaných rizikovými prvkami.

Viacere štúdie poukázali tiež na využitie repy pre čistenie vôd kontaminovaných ťažkými kovmi. Využíva sa pritom vysoká schopnosť adsorpcie niektorých ťažkých kovov na pektíny, ktoré sa získavajú z repných rezkov (30, 31).

Kumulácia ťažkých kovov v pletivách repy cukrovej môže predstavovať riziko kontaminácie ďalších zložiek potravinového

Tab. II. Hodnoty biokoncentračného faktora (BCF) pre jednotlivé odrody repy cukrovej pestovanej v pôdach so zvýšenou koncentráciou olova, kadmia a zinku (25)

Odroda repy cukrovej	BCF pre jednotlivé kovy		
	Pb	Cd	Hg
Alegria C	0,313	0,384	0,45
Delano C	0,354	0,396	0,535
Milton C	0,415	0,477	0,584
Primadonna	0,234	0,328	0,36
Silvetta C	0,43	0,471	0,696
Finezja C	0,316	0,424	0,668
Agnieszka	0,226	0,289	0,519
Janosik	0,214	0,271	0,469



reťazca najmä vzhľadom na to, že produkty repy cukrovej majú široké využitie. Menšie množstvá potenciálne toxických kovov (Cd, Pb) boli zaznamenané skôr v sušine a v spracovaných buľvách repy (32). Hlavným produktom cukrovej repy je cukor, ktorý napriek výrobným technológiám môže obsahovať veľmi malé, ale významné množstvo nečistôt. Hlavné anorganické prvky zastúpené v cukre sú vápnik (Ca), horčík (Mg), draslík (K) a v stopových množstvách tu môžu byť zastúpené arzén (As), ortuť (Hg), olovo (Pb), kadmium (Cd), železo (Fe), meď (Cu) a zinok (Zn). Výskyt toxických prvkov v cukre je regulovaný v súlade s predpismi o maximálnych povolených limitoch na toxické prvky. V dôsledku daných limitov je obsah toxických prvkov v cukre zvyčajne veľmi nízky a nevedie k žiadnym bezpečnostným rizikám pre zdravie ľudí (33).

Záver

Príspevok sa zameriava na zhrnutie poznatkov o vplyve ťažkých kovov na rast a metabolizmus repy cukrovej. Medzi najviac študované ťažké kovy v súvislosti s repou sú kadmium, zinok a olovo. Mierny vplyv na rast repy má olovo, nikel a molybdén, ktoré vykazovali v určitých koncentráciách dokonca stimulačný účinok na rast, výnos a na obsah cukru. Zaznamenaná bola aj genotypová variabilita v reakcii repy na ťažké kovy. Doterajšie štúdie poukázali aj na možný fyto-remediálny resp. fyto-stabilizačný potenciál repy cukrovej.

Práca bola podporená výskumnými zámermi projektov APVV-18-0154 a VEGA 1/0073/20.

Súhrn

Ťažké kovy patria medzi významné znečisťovatele životného prostredia. Jednotlivé rastlinné druhy vykazujú rôznu toleranciu k rizikovým prvkom, pričom sa daná tolerancia vždy prejavuje v súčinnosti s ďalšími faktormi prostredia. Doteraz bola testovaná tolerancia repy najmä voči olovu, kadmiumu a zinku. Mierny vplyv na rast repy má olovo, nikel a molybdén, ktoré vykazujú pri určitých koncentráciách dokonca stimulačný účinok na rast, výnos a obsah cukru. Zaznamenaná bola aj genotypová variabilita v reakcii repy na ťažké kovy. Poznanie tolerancie repy na ióny ťažkých kovov umožňuje jednak zväziť riziká jej pestovania v metalicky zaťažených pôdach a jednak zvýšiť toleranciu tejto plodiny cestou moderných biotechnologických postupov. Hlbšie molekulárno-biologické analýzy zrejme prispejú k odhaleniu mechanizmov tolerancie repy cukrovej k iónom ťažkých kovov.

Kľúčové slová: repa cukrová, ťažké kovy, tolerancia, remediácia.

Literatúra

- LAHUČKÝ, L. ET AL.: Obsah ťažkých kovov v poľnohospodárskej produkcii dopestovanej v metalicky zaťaženom regióne Slovenska. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 55, 2009 (3), s. 156–163.
- YILMAZ, D. D., TEMIZGÜL, A.: Effects of municipal sewage sludge doses on the chlorophyll contents and heavy metal concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). *Biorem. J.*, 16, 2012 (3), s. 131–140.
- YU, B. ET AL.: Mechanisms of sugar beet response to biotic and abiotic stresses. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2020, 1241, s. 167–194.
- CARLSON, R. W., BAZZAZ, F. A., ROLFE, G. L.: The effects of heavy metals on plants II. Net photosynthesis and transpiration of whole corn and sunflower plants treated with Pb, Cd, Ni, Tl. *Environ. Res.*, 10, 1975, s. 113–120.
- LARBI, A. ET AL.: Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution: induced Fe deficiency and growth inhibition. *Funct. Plant Biol.*, 29, 2002 (12), s. 1453–1464.
- TANDON, P. K., SRIVASTAVA, P.: Cadmium induced toxic effects on growth and metabolism of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Plants J. Biol. Chem. Research*, 31, 2014 (1), s. 394–399.
- NADERI, N., MIRZAMASOUMZADEH, B., AGHAE, A.: Effects of different levels of lead (Pb) on physiological characteristics of sugar beet. *Intl. J. Agri. Crop Sci.*, 5, 2013 (10), s. 1154–1157.
- PETROVIC, N., KASTORI, R., RAJCAN, I.: The effect of cadmium on nitrate reductase activity in sugar beet (*Beta vulgaris*). In *Plant Nutrition: Physiology and Applications*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1990, s. 107–109, ISBN 0-7923-0740-2.
- BARLÓG, P., NOWACKA, A., BŁASZYK, R.: Effect of zinc band application on sugar beet yield, quality and nutrient uptake. *Plant Soil Environ.*, 62, 2016 (1), s. 30–35.
- GAD, N., ISMAIL, A. E.: Suppressive effect of cobalt on sugar beet infested with *Meloidogyne arenaria* grown in newly reclaimed sand soils and its role on sugar beet production and quality. *J. Appl. Sci. Res.*, 7, 2011 (11), s. 1583–1590.
- WALSER, R. H., JOLLEY, V. D., DAVIS, T. D.: Effect of cobalt application on structural organization of photosynthetic apparatus of tomato leaves. *J. Plant Nutr.*, 19, 1996, s. 358–363.
- LISNIK, S. S.: Regulation of adaptive responses of plants by macro and micronutrients. *Akard. Nauk Mold. SSR. Ser. Biokhim. Nauk.*, 10, 1994, s. 2–6.
- ŠKRBIĆ, B., ĐURIŠIĆ-MLADENVIĆ, N., MAČVANIN, N.: Determination of metal contents in sugar beet (*Beta vulgaris*) and its products: empirical and chemometrical approach. *Food Sci. Technol. Res.*, 16, 2010 (2), s. 123–134.
- SPIRIDONOVA, E. ET AL.: Effect of cadmium on the roots of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *Intl. J. Phytoremediation*, 21, 2019 (10), s. 980–984.
- KEVREŠAN, S. ET AL.: Effect of heavy metals on nitrate and protein metabolism in sugar beet. *Biol. Plant.*, 41, 1998 (2), s. 235–240.

16. NEAMATOLLAHI, E. ET AL.: Application of different amounts of ZnSO₄ in five varieties of sugar beet. *Adv. Environ. Biol.*, 7, 2013, s. 1113–1116.
17. GOBARAH, M. E. ET AL.: Effect of combined application of different micronutrients on productivity and quality of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.). *Int. J. Plant and Soil Sci.*, 3, 2014, s. 589–598.
18. CALABRESE, E. J., BLAIN, R. B.: Hormesis and plant biology. *Environ. Pollut.*, 157, 2009, s. 42.
19. GREGER, M., LINDBERG, S.: Effects of Cd²⁺ and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*). II. Net uptake and distribution of Mg²⁺, Ca²⁺ and Fe²⁺/Fe³⁺. *Physiol. Plant.*, 69, 1987, s. 81–86.
20. KABIR, A. H. ET AL.: Silicon induces metallochaperone-driven cadmium binding to the cell wall and restores redox status through elevated glutathione in Cd-stressed sugar beet. *Physiol. Plant.*, 173, 2021, s. 352–368.
21. GREGER, M., OGREN, E.: Direct and indirect effects of Cd²⁺ on photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiol. Plant.*, 83, 1989, s. 129–135.
22. GREGER, M. ET AL.: Uptake and physiological effects of cadmium in sugar beet (*Beta vulgaris*) related to mineral provision. *J. Exp. Bot.*, 42, 1991 (6), s. 729–737.
23. SHARMA, R. K., AGRAWAL, M., AGRAWAL, S. B.: Responses of *Beta vulgaris* exposed to cadmium and zinc through soil drenching. *J. Environ. Biol.*, 35, 2014 (4), s. 727–732.
24. SAGARDOY, R. ET AL.: Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics. *Plant Biol.*, 11, 2009 (3), s. 339–350.
25. PAPAZOGLU, E. G., FERNANDO, A. L.: Preliminary studies on the growth, tolerance and phytoremediation ability of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) grown on heavy metal contaminated soil. *Ind. Crops Prod.*, 107, 2017 (15), s. 463–471.
26. GERAKIS, P. A., VERESOGLOU, D., SAKELLARADIS, S.: Differential response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars to lead. *Env. Pollut. Series A. Ecol. Biol.*, 21, 1980 (1), s. 77–83.
27. SALETNIK, B. ET AL.: Accumulation of cadmium, lead and mercury in seedlings of selected sugar beet varieties as a result of simulated soil contamination. *J. Microbiol. Biotech. Food. Sci.*, 5, 2016 (4), s. 351–354.
28. GREGER, M., JOHANSSON, M.: Cadmium effects on leaf transpiration of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiol. Plant.*, 86, 1992, s. 465–473.
29. LIU, D. ET AL.: Enhanced heavy metal tolerance and accumulation by transgenic sugar beets expressing *Streptococcus thermophilus* StGCS-GS in the presence of Cd, Zn and Cu alone or in combination. *PLoS One*, 10, 2015 (6), e0128824.
30. GU, P. ET AL.: Effect of cornstalk biochar on phytoremediation of Cd-contaminated soil by *Beta vulgaris* var. *ciela* L. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 205, 2020, 111144.
31. TANG, X. ET AL.: Enhancing phytoremediation efficiency using regulated deficit irrigation. *Pol. J. Environ. Stud.*, 28, 2019 (4), s. 2399–2405.
32. HAREL, P. ET AL.: Cadmium removal from dilute aqueous solution by gelbeads of sugar beet pectin. *Ind. Crop. Prod.*, 7, 1998, s. 239–240.
33. REDDAD, Z. ET AL.: Ni(II) and Cu(II) binding properties of native and modified sugar beet pulp. *Carbohydr. Polym.*, 49, 2002 (1), s. 23–31.
34. RUSIN, M. ET AL.: Concentration of cadmium and lead in vegetables and fruits. *Sci. Rep.*, 11, 2021, 11913.

Piršelová B., Roszival M., Kubová V.: Influence of Heavy Metals on Growth and Metabolism of Sugar Beet

Heavy metals belong among major pollutants; individual plant species show different tolerances to risk elements, and this tolerance always manifests in connection with other environmental factors. So far, the tolerance of beets – especially to lead, cadmium and zinc – has been tested. Lead, nickel and molybdenum have a moderate effect on beet growth, which at certain concentrations even have a stimulating effect on growth, yield and sugar content. Knowledge of the tolerance of beets to heavy metal ions enables considering the risks of its cultivation in metallurgically loaded soils and increasing the tolerance of this crop through modern biotechnological methods. However, deeper molecular biological analyses are needed to reveal the mechanisms of sugar beet tolerance to heavy metal ions.

Key words: sugar beet, heavy metals, tolerance, remediation.

Kontaktná adresa – Contact address:

doc. RNDr. Beáta Piršelová, PhD., Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky, Katedra botaniky a genetiky, Nábřežie Mládeže 91, 949 74 Nitra, Slovenská republika, e-mail: bpirselova@ukf.sk

