

Frakcionácia a riziko biopristupnosti vybraných ťažkých kovov z pôdy pre cukrovú repu

FRACTIONATION AND RISK OF BIOAVAILABILITY OF SELECTED HEAVY METALS IN AGRICULTURAL LAND FOR SUGAR BEET

Jana Urminská, Peter Ondrišík – Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Cukrová repa ako najvýnosnejšia plodina nášho zemepisného pásma kladie vysoké nároky na kvalitné pôdne vlastnosti. Je pestovaná na pôdach s rozdielnym obsahom chemických prvkov, rozdielne dostupných pre príjem rastlinami. K prejavom živej hmoty patrí schopnosť reakcie, to znamená, že vonkajší podnet vyvolá odozvu, s cieľom zachovania reagujúceho organizmu. Biologický účinok je buď pozitívny, alebo negatívny. V súčasnosti k negatívnym faktorom patria predovšetkým rizikové perzistentné chemické prvky poškodzujúce agroekosystémy (1–5).

Aktuálnosť problematiky v pestovaní kvalitnej cukrovej repy je v tom, že pre mnohé rizikové chemické prvky v princípe neexistujú mechanizmy dôkladného samočistenia či nedostupnosti. Ony sa len premiestňujú z jedného geogénneho, či antropogénneho rezervoára do druhého, pri vzájomnom pôsobení s rôznymi kategóriami organizmov, a všade ostávajú neželateľné dôsledky tohto vzájomného pôsobenia. Viaceré negatívne ovplyvnenia organizmov aj plodín sú vyvolávané najmä nadbytkom rôznych prvkov v prostredí, alebo celkovým komplexným porušením rovnováhy prostredia (5). Z rastúcim počtom chemických látok, so zvyšujúcou sa intenzitou antropogénnych agročinností sa výrazne zvyšuje celkové riziko z nich plynúce a môže sa stať toto riziko až neúnosným (1, 3–6). Nekontaminované životné prostredie je jednou zo základných podmienok existencie organizmov (1).

Pôdy sú špecifickým, vysoko citlivým indikátorom kvality životného prostredia. Skladajú sa z mnohých geochemických fáz a frakcií. Každá z týchto fáz zadržiava prvky s rozdielnou afinitou. V poľnohospodárskej praxi pri optimalizácii výživy rastlín sú dlhodobé zrejme mnohé benefity v používaní agrochemikálií, ale tieto látky prinášajú so sebou aj riziká v podobe prvkových prímies, rezíduí. Kontaminácia pôd ťažkými kovmi sa posudzuje vždy z hľadiska rizík, ktoré vyplývajú z možného prieniku do potravného reťazca, do biologického kolobehu s negatívnymi následkami pre človeka a životné prostredie (7). Vzhľadom k tomu, že ťažké kovy môžu byť významne toxické už pri nízkych koncentráciách a veľká časť z nich môže byť v živých organizmoch akumulovaná, ich prítomnosť v pôdach môže predstavovať riziko trvalej negatívnej zmeny kvality prostredia (5). Mobilita a biodostupnosť ťažkých kovov sú závislé na chemických, fyzikálnych, biologických a mikrobiologických vlastnostiach pôdy (5). Z pohľadu životného prostredia je pre hodnotenie a prognózu kontaminácie plodín významná biologicky dostupná frakcia rizikových prvkov v pôde (8). Kontaminanty v ľahšie rozložiteľnej fáze, môžu byť v súčasnosti prístupné pre plodiny, cukrovú repu už pri malej zmene podmienok prostredia (9, 10). V pôdnom prostredí je dôležité detailne sledovať najmä podiel mobilných, ľahko prístupných rizikových prvkov do rastlinného

organizmu, najmä z pohľadu ich reálneho negatívneho vplyvu (11). To umožňuje sedemkrokovú selektívnu sekvenčnú extrakciu (SSE). Pri frakcionácii, realizovanej sekvenčnou extrakciou, dochádza k postupnému vymývaniu jednotlivých tuhých fáz z pôdy a spolu s nimi k vymývaniu prvkov asociovaných v týchto fázach. Sekvenčné extrakčné postupy poskytujú informácie o jeho biopristupnosti, o agroenvironmentálnom riziku kontaminácie (5, 8, 11, 12).

Cieľom výskumu bolo stanoviť celkové koncentrácie a jednotlivé detailné frakcie vybraných ťažkých kovov v poľnohospodárskej pôde a zhodnotiť ich potenciálne riziko biopristupnosti pre strategicky dôležitú plodinu, pre cukrovú repu.

Materiál a metódika

Pokus bol založený na experimentálnej báze Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Dolnej Malante v rokoch 2012–2014. Lokalita patrí do kukuričnej výrobnjej oblasti so stredne ťažkou hlinitou pôdou a do teplého a mierne suchého klimatického regiónu. Odber pôdných vzoriek počas troch vegetačných období repy cukrovej odrody Expert sa uskutočnil zo závrtovej sondy umiestnenej v strede lokality kruhového tvaru o polomere 10 m, z hĺbky 0–0,2 m, a okrem toho sa uskutočnil odber piatich separátnych vzoriek pre chemické analýzy z povrchového horizontu z náhodne určených miest. Vzorky s hmotnosťou 0,5 kg boli homogenizované a vysušené 48 hodín pri teplote 40 °C. Následne boli pomleté na pôdnom mlyne VEB ThurmZG1 na jemnozeme (priemer ôk sita 2 mm). V hodnotení koncentrácií ťažkých kovov spektrometrickými chemickými analýzami v pôdach sme sa zamerali najmä na kadmium, mangán, nikel, olovo a zinok.

Analýzy boli vykonávané na Katedre chémie, Fakulty biotechnológie a potravinárstva, Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Pôdne vzorky boli rozpustené podľa medzinárodnej normy (13) HNO₃/HCl v pomere 1 : 3 pre určenie celkovej koncentrácie ťažkých kovov metódou plameňovej AAS v plameni acetylén – vzduch na prístroji Varian AA240FS. K stanoveniu detailných frakcií kovov v pôdných vzorkách bola použitá metóda postupnej sedemkrovej selektívnej sekvenčnej extrakcie (14). Analyzované frakcie reprezentovali:

- F1: mobilné formy ťažkých kovov, extrahovadlom bol 1 mol·dm⁻³ NH₄NO₃.
- F2: ľahko prístupné formy ťažkých kovov, extrahovadlom bol 1 mol·dm⁻³ octan amónny pH 6,0.
- F3: prvky viazané na Mn-oxidy, extrahovadlom bol 0,1 mol·dm⁻³ NH₂OH·HCl a 1 mol·dm⁻³ octanu sodného pH 6,0.

- F4: prvky viazané na organickú hmotu, extrahovadlom bola amónna soľ kyseliny etyléndiamintetraoctovej $0,025 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{NH}_4\text{-EDTA}$ pH 4,6. Uvedené frakcie predstavujú tie formy prvku, ktoré sú pre organizmy v danom prírodnom prostredí prístupné a predstavujú najväčšie riziko pre vstup do rastlinného organizmu.
- F5: prvky viazané na amorfné Fe-oxidy, extrahovadlom bol $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ octan amónny pH 4,6.
- F6: prvky viazané na kryštalické Fe-oxidy, extrahovadlom bol $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ kyseliny askorbovej a $0,2 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ oxalátu amónneho pH 3,25. Ide o formy potenciálne mobilné, s nízkym rizikom vstupu. Repräsentujú tie formy prvkov, ktoré nie sú organizmami prijateľné, ale za určitých podmienok (napr. zmena Eh, pH, spolupôsobenie iného chemického prvku) sa môžu transformovať na formu prijateľnú organizmami.
- F7: reziduálna frakcia, extrahovadlom boli 65 % HNO_3 a 72 % HClO_4 . Repräsentuje prvky, ktoré nepredstavujú reálne riziko pre rastliny. Prvky sú v chelátovej forme, sú viazané na silikáty, ílové minerály.

Získané výsledky boli analyticky spracované a štatisticky vyhodnotené metódou Spermanovho korelačného koeficientu (16) a zostavené do tabuliek a obrázkov.

Výsledky a diskusia

Ťažké kovy sú prvky, ktoré pri určitých koncentráciách, chemických, fyzikálnych či mikrobiologických zmenách pôsobia toxicky na organizmy – plodiny, ako je aj cukrová repa. Problematika ich štúdia zahŕňa niekoľko dôležitých dôvodov: sú relatívne dosť rozšírené v zložkách životného prostredia, hromadia sa a tvoria nedegradabilný odpad, niektoré sú fyziologicky dôležité pre ekosystémy, na druhej strane, pri vysokých koncentráciách spôsobujú neželateľné účinky v biogeochemickom cykle, a tak majú priamu súvislosť s ľudským zdravím a poľnohospodárskou produkciou. Ich toxický vplyv sa môže prejaviť po nadlimitnej koncentrácii v prostredí, v závislosti najmä od obsahu mobilných a mobilizovateľných foriem (1, 3, 5, 6, 16–18). Ich biologické účinky závisia od mnohých špecifických chemických, fyzikálnych a fyziologických faktorov.

Za potenciálne toxické až vysoko toxické považujeme tie látky geogénneho či antropogénneho pôvodu, ktoré môžu byť toxické pre organizmy, ak sú prijímané v dostatočne vysokej dávke, počas dlhého obdobia, môžu sa bioakumulovať a pretvárať v systéme, a to v takých formách výskytu, ktoré sú v konkrétnych podmienkach mobilné. Pri transportných procesoch môžu nastať zmeny zloženia, väzieb, koncentrácie toxického pôsobenia. V zmesiach sa toxické účinky jednotlivých prvkov môžu navzájom zosilňovať alebo zoslabovať. Mnohé ťažké kovy nepodliehajú degradácii a ich koncentrácia sa môže neustálym doplnovaním v prostredí zvyšovať (1–5).

Cukrová repa je veľmi citlivá plodina, ktorá intenzívne reaguje na prísun chemických prvkov z geogénneho alebo antropogénneho prostredia. Dôležitú úlohu u cukrovej repy zohráva koreňová sústava, pletivá koreňov. Príjem prvkov prebieha zložitým mechanizmom s uplatnením javov difúzie, selektivity a akumulácie. Rýchlosť a intenzita intoxikácie závisí na rýchlosti penetrácie a resorpcie látky do organizmu, čo je podmienené (5, 19): chemickou štruktúrou, fyzikálnymi vlastnosťami, koncentráciou škodliviny, cestou, ktorou vniká do organizmu, rezistenciou organizmu a lokálnymi podmienkami miesta

aplikácie. V súčasnosti je dôležité sledovať bioprístupnosť prvkov v pôdnom médiu, ktoré významne kvalitatívne a kvantitatívne ovplyvňuje úrodu či zdravotný stav organizmov.

Výskumom bolo zistené, že celkové koncentrácie kadmia sa pohybovali v rozmedzí $1,26\text{--}2,83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty, mangánu v rozmedzí $585,58\text{--}869,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty, niklu v rozmedzí $27,44\text{--}46,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty, olova v rozmedzí $25,705\text{--}40,52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty a zinku v rozmedzí $60,0\text{--}108,36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty. Za sledované obdobie lokálne vystúpilo do popredia kadmium s nárastom koncentrácie o 304,28 % oproti limitnej koncentrácii určenej pre pôdu (limit pre Cd je $0,70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej hmoty) (20). Riziko jeho pôsobenia je v jeho bioprístupnosti a následne toxickom pôsobení na živé organizmy (21, 22). Ide o také formy prvku v pôde, ktoré môžu byť prijímané koreňmi rastlín počas vegetačného cyklu a môžu ovplyvniť celý životný cyklus (23). Zastúpenie zistených koncentrácií jednotlivých frakcií vybraných ťažkých kovov uvádza tab. I. Extrahovateľné podiely jednotlivých frakcií prvkov v sledovaných rokoch sú zhrnuté graficky v obr. 1. až obr. 3.

Výskumom bolo zistené, že potenciálne bioprístupné formy pre kadmium dosiahli najvyššiu úroveň až 64 %, z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili 29 %. Dominantná bola najmä 4. frakcia, kde ide o prvky viazané na organickú hmotu.

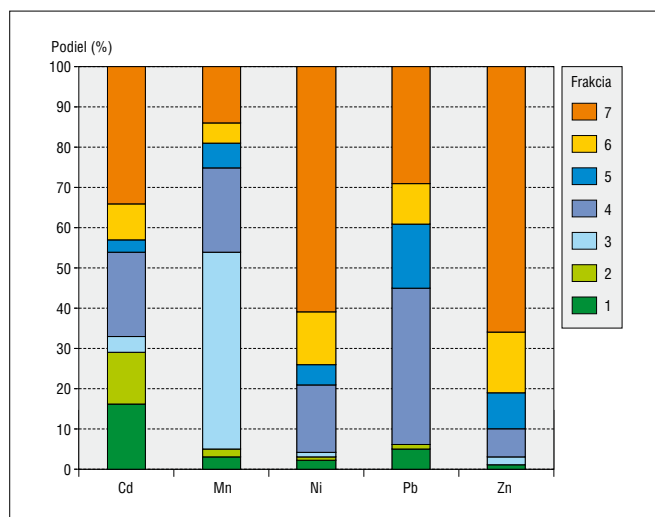
Tab. I. Frakcionácie zistených koncentrácií Cd, Mn, Ni, Pb a Zn v sledovanej pôde pod cukrovou repou v roku 2012

	Cd	Mn	Ni	Pb	Zn
	koncentrácia prvku ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny)				
frakcia 1	0,31	17,04	0,72	1,44	0,8
frakcia 2	0,26	10,02	0,31	0,15	0,12
frakcia 3	0,08	311,45	0,38	0,1	1,72
frakcia 4	0,42	132,44	5,01	11,7	5,19
frakcia 5	0,06	41,16	1,43	4,89	6,89
frakcia 6	0,19	36,72	3,88	3,02	11,02
frakcia 7	0,67	87,13	18,4	8,6	49,13

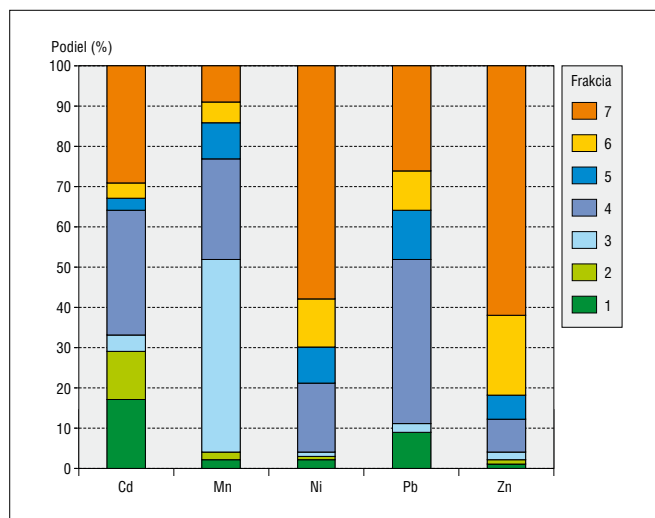
Tab. II. Frakcionácie zistených koncentrácií Cd, Mn, Ni, Pb a Zn v sledovanej pôde pod cukrovou repou v roku 2013

	Cd	Mn	Ni	Pb	Zn
	koncentrácia prvku ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny)				
frakcia 1	0,48	21,01	0,88	2,89	1,6
frakcia 2	0,33	14,40	0,29	0,12	1,02
frakcia 3	0,12	415,02	0,47	0,8	2,45
frakcia 4	0,88	220,1	7,8	15,9	8,9
frakcia 5	0,09	78,6	4,3	4,6	6,2
frakcia 6	0,11	41,2	5,6	4,02	21,29
frakcia 7	0,82	79,2	26,9	10,14	66,9

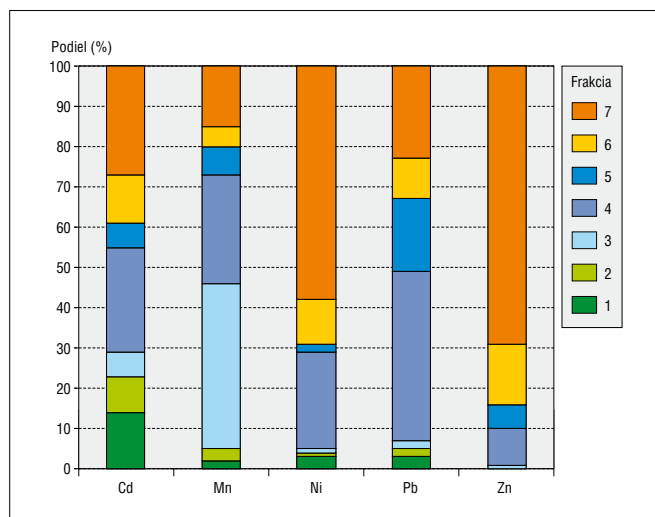
Obr. 1. Distribúcia vybraných ťažkých kovov v jednotlivých frakciách v roku 2012



Obr. 2. Distribúcia vybraných ťažkých kovov v jednotlivých frakciách v roku 2013



Obr. 3. Distribúcia vybraných ťažkých kovov v jednotlivých frakciách v roku 2014



Rozdielne zistenie bioprístupnosti bolo zaznamenané pre mangán. Prístupné formy dosiahli až 77 %, ale z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili len 4 %. Dominantná bola najmä 3. frakcia, kde ide o prvky viazané na Mn-oxidy.

Potenciálne bioprístupné formy pre nikel dosiahli najvyššiu úroveň 29 %, z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili 4 %. Dominantná bola najmä 4. frakcia.

Potenciálne bioprístupné formy pre olovo dosiahli najvyššiu úroveň 52 %, z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili 9 %. Opätovne dominantná bola najmä 4. frakcia.

Potenciálne bioprístupné formy pre zinok dosiahli najvyššiu úroveň 12 %, z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili 2 %. Dominantná bola najmä 4. frakcia, kde opäť ide o prvky viazané na organickú hmotu.

Najviac mobilná frakcia kovov bola detekovaná u kadmia a najmenej u zinku. Zinok bol spojený s reziduálnou frakciou. Tento chemický prvok popritom zohráva dôležitú esenciálnu funkciu (24), naproti tomu kadmium vykazuje len toxické účinky (5, 21, 25, 26). Negatívny dopad kadmia u plodín sa prejavuje zníženou fotosyntetickou aktivitou, zasahuje do premien zlúčenín dusíka, prejavuje sa poškodením membránových systémov, pôsobí retardačne na koreňovú sústavu a spôsobuje chlorózy až nekrózy s celkovým poklesom biomasy o ca 22 % (25). Najviac sa akumuluje v koreňoch a listoch rastlín, preto k najohrozenejším patria koreňové a listové plodiny (11).

Zistené výsledky indikujú vyšší podiel kovov viazaných na organickú a reziduálnu frakciu. Koncentrácia a kvalita organickej hmoty zohráva významnú úlohu pri jej interakciách s jednotlivými prvkami. Zistené boli významné štatistické Spearmanove korelácie medzi mobilnými a potenciálne mobilnými frakciami kovov a organickými látkami (25). Čím vyšší je obsah organických látok v prostredí, tým väčšia je sorpcia ťažkých kovov. Z chemického hľadiska sú to hlavne karboxylové, v menšej miere hydroxylové a amínové skupiny v molekule humínových kyselín, ktoré sú schopné interakcie s ťažkými kovmi (21, 25, 27). Na základe štatistického spracovania výsledkov možno konštatovať, že všetky korelácie vykazovali pozitívnu závislosť. Do popredia vystúpilo najmä rizikové kadmium. Vykazovalo veľmi vysoko preukaznú významnosť z aspektu korelácie k olovu ($p_{\text{value}} 0,0014 < 0,5$) a vysoko preukaznú významnosť k zinku ($p_{\text{value}} 0,0451 < 0,5$). Potvrdila sa dlhodobým výskumom získaná skúsenosť, že preukaznú chemickú významnosť vyžaduje kadmium vo vzťahu k olovu, kde kadmium doprevádza olovo skoro vo všetkých prostrediach (5, 6). Stúpajúce koncentrácie kadmia podporujú negatívne zmeny aj u jeho porovnávaného – závislého „chem-konkurenta“.

Výraznejšia závislosť medzi celkovým obsahom rizikových prvkov v pôdach a koncentráciou v cukrovej repe sa prejavuje častokrát pri vysokých hodnotách prekračujúcich kategórie B a C hygienických limitov pôd. Táto skutočnosť bola potvrdená aj našim výskumom v prípade kadmia. Pri vysokých hodnotách celkového obsahu sú u chemických prvkov relatívne vysoké aj koncentrácie ich mobilných foriem. S odporúčaním Medzinárodnej organizácie pre štandardizáciu (ISO) sa overujú najvhodnejšie metódy pre určenie mobilných a mobilizovateľných foriem prvkov. Bolo dokázané, že koncentrácia mobilných a mobilizovateľných foriem prvkov najcitlivejšie reaguje na pokles alebo nárast kontaminácie (5). Frakcionácia prvkov, zistenie ich mobilných a mobilizovateľných foriem vo vzťahu k pestovaným plodinám, k cukrovej repe, predstavuje kľúčový parameter. V súčasnosti zvyšovanie koncentrácie chemických prvkov a látok v životnom prostredí je vážny hygienický a ekonomický problém (28–31).

Záver

Riziko spájané s toxicitou ťažkých kovov, ktoré sú časovo perzistentné, musí byť detailne preskúmané v kontexte s druhom, formou a bioprístupnosťou. Pre pôdy bolo vyvinutých mnoho extrakčných postupov, ktoré sú najpraktickejšou formou hodnotenia mobility prvkových kontaminantov v pôdnych prostrediach (32). Metóda sedemkrokovej selektívnej sekvenčnej extrakcie podľa ZIEHENA A BRÜMMERA (14) je jednou z nich. Výskumom bolo zistené, že za sledované obdobie vystúpilo do popredia najmä kadmium. Potenciálne bioprístupné formy pre kadmium dosiahli najvyššiu úroveň až 64 %, z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili 29 %. Dominantná bola najmä 4. frakcia, kde ide o prvky viazané na organickú hmotu. Rozdielne zistenie potenciálnej bioprístupnosti bolo zaznamenané pre mangán. Prístupné formy dosiahli až 77 %, ale z toho mobilné a ľahko prístupné formy frakcií 1. a 2. tvorili len 4 %. Dominantná bola najmä 3. frakcia, kde ide o prvky viazané na Mn-oxidy. Toxicita kadmia je pre každú zložku životného prostredia varujúca, pretože zasahuje do častí abiotickej aj biotickej sféry. Tento prvok neprejavuje žiadnu esenciálnu funkciu a vykazuje veľmi vysokú preukaznosť najmä s olovom. Medzi najčastejšie prejavy fytotoxicity patria chloróza listov, retardácia koreňov, znížená fotosyntetická aktivita, narušenie transpirácie a klíčivosti rastliny, poškodenie membránových systémov, červenohnedé sfarbenie listovej žilnatiny, tvorba fialovohnedých škvŕn na listoch, nekróza listov a celkový pokles biomasy spôsobený opadávaním listov (21, 25, 26).

Zistené výsledky znamenajú, že zvýšená bioprístupnosť rizikového kadmia potenciálne indikuje výrazné nebezpečenstvo pre pestované plodiny. Kvalitu pôdy a na nich pestované plodiny možno považovať za jeden z najvýznamnejších indikátorov stavu životného prostredia. Informácia o zvýšení koncentrácií rizikových ťažkých kovoch, o znečistení prostredia ich mobilnými bioprístupnými formami je dostačujúca na to, aby boli

Tab. III. Frakcionácie zistených koncentrácií Cd, Mn, Ni, Pb a Zn v sledovanej pôde pod cukrovou repou v roku 2014

	Cd	Mn	Ni	Pb	Zn
	koncentrácia prvku (mg·kg ⁻¹ sušiny)				
frakcia 1	0,28	14,03	1,2	1,2	0,4
frakcia 2	0,19	21,02	0,46	0,90	0,09
frakcia 3	0,11	298,12	0,29	0,75	1,43
frakcia 4	0,51	202,1	9,8	16,9	8,9
frakcia 5	0,11	53,09	0,98	7,31	6,12
frakcia 6	0,23	34,29	4,2	4,19	15,4
frakcia 7	0,53	111,02	23,47	9,27	71,3

realizované účinné revitalizačné a remediačné opatrenia v oblasti ochrany poľnohospodárskych strategických plodín a zdravia.

Súhrn

S rozvojom antropogénnych aktivít dochádza k ovplyvňovaniu pôdneho prostredia ťažkými kovmi, čo sa odráža na kvalite, zdraví organizmov. Z hľadiska možných účinkov prirodzeného a antropogénneho agro-prostredia na zdravotný stav organizmov je potrebné pamätať na to, že dôležitejším faktorom je biologická dostupnosť prvkov pre organizmy. Cieľom výskumu bolo analyzovať a vyhodnotiť pôdu pod pestovanou cukrovou repou na vybrané ťažké kovy, určiť ich celkové koncentrácie a posúdiť potenciálnu nebezpečnosť ich bioprístupnosti pre cukrovú repu. Pôdy sú spoľahlivými ukazovateľmi kvality životného prostredia. Analýzy vzoriek pôdy sa uskutočnili metódou atómovej



absorpční spektrometrie s použitím selektivnej sekvenčnej extrakcie v siedmich stupňoch – špecifikácia podľa ZIEHENA A BRÜMMER (14). Metóda selektivnej postupnej extrakcie je vhodným agrochemickým postupom, ktorý umožňuje detailne detekovať prvkové kontaminačné agrochemické problémy. Zistené celkové koncentrácie Cd sa pohybovali v rozmedzí 1,26–2,83 mg·kg⁻¹, Mn od 585,58–869,53 mg·kg⁻¹, Ni 27,44–46,24 mg·kg⁻¹, Pb 25,705–40,52 mg·kg⁻¹, zniku 60,0–108,36 mg·kg⁻¹ suchej hmoty. Bioprístupné formy pre Cd dosiahli úroveň 64 %, pre Mn 77 %, pre Ni 29 %, pre Pb 52 %, pre Zn 12 %. Zaznamenaná bola dominantná frakcia, s prvkami viazanými na organickú hmotu.

Kľúčové slová: cukrová repa, frakcionácia, poľnohospodárska pôda, sedemkroková sekvenčná extrakcia, vybrané ťažké kovy.

Literatúra

- CIBULKA, J. ET AL.: *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosfere*. Praha: Academia Praha, 1991, 427 s.
- BESEDA, I. ET AL.: *Toxicológia*. Zvolen: Skriptá pre FE – študijný odbor „Všeobecná ekológia“. ÚVT TU, 1994, 159 s.
- BENCKO, V. ET AL.: *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. Praha: Grada Publishing, 1995, 288 s.
- KAFKA, Z.; PUNČOCHÁŘOVÁ, J.: Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chem. listy*, 96, 2002, s. 611–617.
- KHUN, M. ET AL.: *Environmentálna geochémia*. Bratislava: Geografika Bratislava, 2008, 278 s.
- URMINSKÁ, J.: *Riziko vplyvu vybraných ťažkých kovov v sedimentoch sledovaných bansko-štiavnických vodných nádrží na životné prostredie*. Habilitačná práca, Katedra environmentalistiky a zoológie, FAPZ, SPU Nitra, 2011, 177 s.
- Monitoring pôd SR, súčasný stav monitorovaných vlastností pôd*. Výsledky ČMS pôda, VÚPÚ, 1997, 128 s.
- STREŠKO, V. ET AL.: *Spektroskopické metódy v geochemickom výskume, súčasný stav a perspektívy*. Geochémia, Bratislava: PRIF UK a GSSR Bratislava, 1999.
- YUAN, X. ET AL.: Speciation and potential remobilization of heavy metals in sediments of the Taihu lake, China. *Chinese J. of Geochemistry*, 26, 2007 (4), s. 313–321.
- ITTER, L. ET AL.: Sources, pathways and relative risks of contaminants in surface water and groundwater. *Journal of Toxic. a Environ. Health*, Canada, part A 2002.
- SHEN, J. ET AL.: Distribution and chemical fractionation of heavy metals in recent sediments from Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*, 581, 2007 (1), s. 141–150.
- LIU, H. ET AL.: Fraction distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Moshui Lake. *J. Environ. Sci.* (Elsevier), 20, 2008 (4), s. 390–397.
- ISO 11466 International Standard. Soil quality-extraction of trace elements soluble in aqua regia. 1995, 03-01.
- ZIEHEN, H.; BRÜMMER, G. W.: Ermittlung der mobilität und Bindungsformen von Schwermetallen in Boden mittels sequentieller Extraktionen. *Mitt. Dtsch. Gesl.* 66, 1991, s. 439–442.
- STEHLÍKOVÁ, B.: *Biometrika (Terminologický slovník)*. Učebné texty pre dištančné štúdium a ostatné formy vzdelávania. SPU, 1999, 95 s.
- HRONEC, O. ET AL.: *Cudzorodé látky a ich riziká*. Harlequin quality, 2002, 198 s.
- URMINSKÁ, J.: *Potenciálny vplyv geochemického prostredia na zdravotný stav detskej populácie v oblasti Žiarskej kotliny (z aspektu medicínskej geochémie)*. Dizertačná doktorandská práca, UK Bratislava, 2002, 165 s.
- ČURLÍK, J.: *Potenciálne toxické stopové prvky a ich distribúcia v pôdach Slovenska*. Suma print Jaroslav Suchoň, 2011, 462 s.
- MATRKA, M.; RUSEK, V.: *Průmyslová toxicologie*. Pardubice: skriptá Katedry ochrany životního prostředí, 1994, 157 s.
- Vyhľadka č. 59/2013 Z. z. Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky.
- HEGEDŮSOVÁ, A. ET AL.: Riziká kontaminácie pôd kadmium. *Prírodovedec*, 2006 (222), 89 s.
- HANČ, A. ET AL.: Použití jednoduché a postupné extrakce ke zhodnocení chování Zn v kompostech a půde. *Chem. listy*, 103, 2009, s. 931–934.
- TREMLOVÁ, J. ET AL.: Hodnocení možného vlivu rizikových prvků obsažených v půde na organismus člověka. *Chem. listy*, 104, 2010, s. 349–352.
- URMINSKÁ, D. ET AL.: Yeast *Saccharomyces Cerevisiae* as a Source of Zinc and Magnesium and potential Supplement in Nutrition. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 63, 2013, s. 1543
- MAKOVNÍKOVÁ, J. ET AL.: Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. *Chem. listy*, 100, 2006, s. 424–432.
- TLUSTOŠ, P. ET AL.: *Rizika kovů v půde v agroekosystémech v ČR*. Vědecký výbor fyto-sanitární a životního prostředí, Praha, 2007, 26 s.
- BARANČIKOVÁ, G.: Návrh účelovej kategorizácie poľnohospodárskych pôd Slovenska z hľadiska ich citlivosti k znečisteniu ťažkými kovmi. *Rostlinná výroba*, 44, 1998 (3), s. 117–122.
- KHUN, M.: *Lekárska geochémia*. Bratislava: Manuskript Katedry geochémie Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava, 1992, 66 s.
- KAMPA, M.; CASTANAS, E.: Human health effects and air pollution. *Environmental Pollution*, 151, 2008 (2), s. 362–367.
- SZYMAŃSKA-CHABOWSKA, A. ET AL.: Evaluation of DNA damage in people occupationally exposed to arsenic and some heavy metals. *Polish J. Environmental Studies*, 18, 2009 (6), s. 1131–1139.
- KHAN, S. ET AL.: Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 2010 (7), s. 1820–1827.
- VOJTEKOVÁ, V.; KRAKOVSKÁ, E.: Frakcionačná analýza sedimentov – limitácie selektivity sekvenčného lúhovania. *Chem. listy*, 100, 2006, s. 1096–1104.

Urminská J., Ondříšek P.: Fractionation and Risk of Bioavailability of Selected Heavy Metals in Agricultural Land for Sugar Beet

With the development of anthropogenic activities, heavy metal influence of soil agroenvironment occurs, which consequently reflects on the health of organisms. In terms of the possible effects of natural/anthropogenic agroenvironment on the health of organisms, it is necessary to remember that element bioavailability is a more important factor. The aim of this research was to analyze and evaluate the soil under sugar beet, to determine the concentrations of selected heavy metals in the soil and assess the risk of their bioavailability for sugar beet. Soils are reliable indicators of environmental qualities. The analyses of the soil samples were carried out by the AAS method using the seven-step SSE by ZIEHEN & BRÜMMER (14). The SSE method is a suitable procedure, which allows solving various agrochemical element contamination problems. The total concentration of Cd in the soil was 1.26–2.83 mg kg⁻¹, Mn was 585.58–869.53 mg kg⁻¹, Ni was 27.44–46.24 mg kg⁻¹, Pb was 25.705–40.52 mg kg⁻¹, Zn was 60.0–108.36 mg kg⁻¹ of dry matter. The available forms of Cd represented 64% share, Mn represented 77% share, Ni represented 29% share, Pb represented 52% share, Zn represented 12% share. The 4th fraction was mainly dominated by organics.

Key words: sugar beet, fractionation, agricultural land, seven-step selective sequential extraction, selected heavy metals.

Kontaktná adresa – Contact address:

doc. RNDr. Jana Urminská, PhD. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Katedra environmentalistiky a zoológie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: jana.urminska@uniag.sk