

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

ROSTLINNÁ VÝROBA

Plant Production

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

10

VOLUME 44
PRAHA
ŘÍJEN 1998
CS ISSN 0370-663X

ROSTLINNÁ VÝROBA

PLANT PRODUCTION

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření Ministerstva zemědělství České republiky a pod gesci České akademie zemědělských věd

An international journal published under the authorization by the Ministry of Agriculture and under the direction of the Czech Academy of Agricultural Sciences

Redakční rada – Editorial Board

Předseda – Chairman

Doc. Ing. Josef Šimon, CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, ČR)

Členové – Members

Prof. Dr. Márta Birkás (Agrártudományi Egyetem, Gödöllő, Hungária)

Ing. Helena Donátová, CSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Prof. Ing. Václav Fric, DrSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Prof. Dr. Günter Kahnt (Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Stuttgart, BRD)

Prof. Ing. Josef Kozák, DrSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Prof. Ing. Lubomír Minx, DrSc. (Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ČR)

Ing. Timotej Mištin, CSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Piešťany, SR)

Doc. Ing. Jan Moudrý, CSc. (Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice, ČR)

Prof. RNDr. Lubomír Nátr, DrSc. (Karlova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Praha, ČR)

Dr. Peter Newbould (The Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen, Scotland, UK)

Ing. Jaromír Procházka, CSc. (Výzkumný ústav pícninářský, Troubsko u Brna, ČR)

Prof. Ing. Stanislav Procházka, DrSc. (Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ČR)

Doc. Ing. Vlastimil Rasocha, CSc. (Výzkumný ústav bramborářský, Havlíčkův Brod, ČR)

Prof. Dr. Heinrich W. Scherer (Agrikulturchemisches Institut der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität, Bonn, BRD)

Doc. Ing. Ladislav Slavík, DrSc. (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, ČR)

Prof. Ing. Václav Vaněk, CSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Ing. Marie Váňová, CSc. (Zemědělský výzkumný ústav, Kroměříž, ČR)

Prof. Ing. Karel Voříšek, CSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Doc. Ing. František Vrkoč, DrSc. (Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, ČR)

Prof. Dr. hab. Kazimiera Zawislak (Akademia Rolniczo-Techniczna, Olsztyn, Polska)

Vedoucí redaktorka – Editor-in-Chief

RNDr. Eva Stříbrná

Cíl a odborná náplň: Časopis publikuje původní vědecké práce, výsledky výzkumu a studie z oborů rostlinná výroba, půdoznalství, meliorace a z navazujících disciplín.

Časopis je citován v bibliografickém časopise Current Contents – Agriculture, Biology and Environmental Sciences. Abstrakty z časopisu jsou zahrnuty v těchto databázích: Agricola, Agris, CAB Abstracts, Current Contents on Diskette – Agriculture, Biology and Environmental Sciences, Czech Agricultural Bibliography, Toxline Plus, WLAS.

Periodicita: Časopis vychází měsíčně (12x ročně), ročník 44 vychází v roce 1998.

Přijímání rukopisů: Rukopisy ve dvou vyhotoveních je třeba zaslat na adresu redakce: RNDr. Eva Stříbrná, vedoucí redaktorka, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: editor@login.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze na celý rok (leden–prosinec) a měly by být zaslány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, vydavatelské oddělení, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1998 je 744 Kč.

Aims and scope: The journal publishes scientific papers, results of research and studies of the branches plant production, pedology, amelioration and related disciplines.

The journal is cited in the bibliographical journal Current Contents – Agriculture, Biology and Environmental Sciences. Abstracts from the journal are comprised in the databases: Agricola, Agris, CAB Abstracts, Current Contents on Diskette – Agriculture, Biology and Environmental Sciences, Czech Agricultural Bibliography, Toxline Plus, WLAS.

Periodicity: The journal is published monthly (12 issues per year), Volume 44 appearing in 1998.

Acceptance of manuscripts: Two copies of manuscript should be addressed to: RNDr. Eva Stříbrná, editor-in-chief, Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: editor@login.cz. The day the manuscript reaches the editor for the first time is given upon publication as the date of reception.

Subscription information: Subscription orders can be entered only by calendar year (January–December) and should be sent to: Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Subscription price for 1998 is 177 USD (Europe), 195 USD (overseas).

DENITRIFIKACE V HNĚDOZEMI V PODMÍNKÁCH OMEZENÉHO ZPRACOVÁNÍ PŮDY

DENITRIFICATION IN ORTHIC LUVISOLS WITH A RESTRICTED TILLAGE

M. Králová, P. Růžek

Research Institute of Crop Production, Praha-Ruzyně, Czech Republic

ABSTRACT: Soil cores of orthic Luvisols were sampled from 0 to 20 cm of field layers covered with winter wheat sown after alfalfa. The exactor Horsch ploughed the soil to the 5 to 7 cm layer only. The denitrification activity was observed in relation to changing porosity, water filled and air filled pore spaces, bulk density and nitrate concentration. Soil cores were fully saturated with water and incubated in the close glass vials at 20 to 22 °C. The variant A was enriched with glucose (5 mg C in 100 g dry soil), the variant B was enriched with glucose and KNO₃ (1 mg NO₃-N in 100 g dry soil). Acetylene was used for the depression of the activity of N₂O-reductase. The analyses of NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, N₂O, CO₂, O₂, extractable C_{ox}, values of Eh and pH showed that the nitrate reduction passed more intensively in the surface layer (0 to 10 cm) than in the subsurface layer (10 to 20 cm). The amount of nitrate was three times higher in the surface layer than in the subsurface one. The supply of nitrate in the subsurface layer was consumed on the 9th day of incubation, whereas the amount of nitrate in the surface layer was sufficient up to 23rd day of incubation. Values of redox potential confirmed these processes: 246 mV for the soil layer of 10 to 20 cm and 350 mV for the surface layer (0 to 10 cm) in the variant A. For the variant B the Eh values of 332 mV (surface layer) and 285 mV (subsurface layer) were measured. The N₂O production increased slowly up to the end of incubation. Denitrification activity of 0.28 µg N₂O-N.g⁻¹.d⁻¹ was measured. Analyses of NH₄-N confirmed the absence of nitrification process. The amount of extractable C_{ox} limited denitrification. The correlation factor between N₂O-amount and extractable C_{ox} concentration was calculated 0.89. The O₂ content decreased gradually from 20 to 6% vol. during 29 days of incubation.

denitrification; orthic Luvisols; nitric oxide; nitrate; redox potential

ABSTRAKT: Monolity z vrstvy půdy 0 až 20 cm byly odebrány z hnědozemě pod ozimou pšenicí setou po vojtěšce secim exaktorem Horsch, který zpracoval půdu do hloubky 5 až 7 cm. U monolitů byla zjišťována denitrifikační aktivita půdy v závislosti na měnících se hydrolimitech (pórovitost, počty kapilárních a nekapilárních pórů), objemové hmotnosti a koncentraci nitrátů. Monolity byly plně nasyceny vodou a inkubovány 29 dnů při teplotě 20 až 22 °C v uzavřených nádobách. Varianta A byla obohacena glukózou (5 mg C ve 100 g sušiny) a varianta B byla obohacena glukózou a KNO₃ (1 mg NO₃-N ve 100 g sušiny). Obě varianty byly ošetřeny několikrát acetylenem (1 % obj.) k potlačení aktivity N₂O-reduktázy. Stanovení obsahu NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, N₂O, CO₂, O₂, extrahovatelného C_{ox}, Eh a pH ukázalo, že redukce nitrátů takto zpracované půdy probíhala intenzivněji v půdní vrstvě 0 až 10 cm ve srovnání s podpovrchovou vrstvou. Ve vrstvě 10 až 20 cm byl třikrát nižší obsah nitrátů než ve vrstvě povrchové. V podpovrchové vrstvě byla zásoba nitrátů spotřebována již 9. den, zatímco v povrchové vrstvě zůstávaly nitráty stále k dispozici do 23. dne inkubace. Tuto skutečnost potvrdily hodnoty redox potenciálu ve vrstvě 10 až 20 cm (246 mV) a ve vrstvě povrchové (350 mV) pro variantu A, pro variantu B bylo naměřeno 332 mV (povrchová vrstva) a 285 mV (podpovrchová vrstva). Produkce N₂O pomalu stoupala až do konce inkubace. Byla naměřena denitrifikační aktivita 0,28 µg N₂O-N.g⁻¹.d⁻¹. Analýza NH₄-N potvrdila, že nedošlo k nitrifikaci během inkubace. Množství extrahovatelného C_{ox} bylo limitujícím faktorem pro stupeň denitrifikace. Korelační faktor mezi emisemi N₂O a extrahovatelným C_{ox} byl 0,89. Množství O₂ postupně klesalo z 20 až na 6 % obj. během 29 dnů inkubace.

denitrifikace; hnědozem; oxid dusný; dusičnany; redox potenciál

ÚVOD

Koncentrace oxidu dusného v atmosféře stoupá s rozvojem civilizace. Donedávna se předpokládalo, že biologická aktivita tohoto plynu pod povrchem půdy v oblasti kořenů je zanedbatelná. Ronen et al. (1988)

však stanovili, že 10 až 20 % biogenního N₂O pramení právě z podpovrchových vrstev půdy. Podobně Balkwill, Ghorse (1985) a Wilson et al. (1990) podávají obraz o různých mikrobiálních ekosystémech a emisích N₂O až v hloubce 200 m. Francis et al. (1989) naměřili denitrifikační aktivitu v sedimentech

v hloubce 250 cm. Dá se konstatovat, že denitrifikace půdního prostředí pod aktivní zónou kořenů je jedním z dalších možných zdrojů atmosférického N_2O , jak též zaznamenali Rice, Rogers (1993).

Denitrifikace je proces, který se v půdě objevuje po silných deštích, kdy anaerobní podmínky způsobují nedostatečnou difuzi O_2 (Christensen et al., 1990a) a akumulace nitrátů podporuje aktivitu denitrifikačních bakterií.

Stimuluje-li degradující organický materiál mikrobiální aktivitu, může dojít k lokální anaerobitě i po odvodnění půdy (Christensen et al., 1990b).

Kromě hloubky půdního profilu hraje důležitou roli též způsob zpracování půdy během vegetačního období a s tím související změny fyzikálních vlastností půdy a hydrolimitů (Králová, Růžek, 1998).

Laboratorní pokusy sledující denitrifikaci využívají přítomnosti acetylenu jako inhibitoru redukce N_2O na N_2 a následná měření N_2O lze považovat (McKenney et al., 1996) za kvantifikaci denitrifikačního procesu.

Předmětem předložené studie bylo sledování denitrifikace v půdních vrstvách 0 až 10 a 10 až 20 cm monolitů, které byly odebrány z hnědozemě částečně zpracované secím exaktorem Horsch; půdní monolity byly inkubovány v laboratorních podmínkách a inhibovány acetylenem.

MATERIÁL A METODA

Odběr vzorků

Monolity hnědozemě (průměr 7 cm, výška 20 cm) byly odebrány v únoru 1998 z honu s ozimou pšenicí, přímo setou 9. 10. 1997 po sklizni vojtěšky secím exaktorem Horsch. Bylo sledováno 10 monolitů ve dvou opakováních. Zároveň byly odebrány půdní vzorky pro stanovení fyzikálních vlastností a hydrolimitů z povrchové vrstvy (0 až 10 cm) a podpovrchové vrstvy půdy (10 až 20 cm).

Inkubace monolitů

Půdní monolity v novodurových válcích byly opatřeny silonovou sítkou na spodní části nádoby a vloženy do skleněných lahví (objem 3500 ml). Půda byla plně nasycena vodou vztláním. Do každého válce byla přidána glukóza (5 mg C na 100 g sušiny zeminy). Do jedné ze sledovaných variant (B) byl přidán také KNO_3 (1 mg N na 100 g sušiny zeminy). Varianta A nebyla obohacena nitráty. Nádoby byly uzavřeny gumovou zátkou a utěsněny silikonovým tmelem. Inkubace probíhala 29 dnů při teplotě 20 až 22 °C. První odběr plynů byl proveden po 3 dnech inkubace, další odběry plynů následovaly po 7, 9, 14, 16, 21, 23, 27 a 29 dnech inkubace. Vzorky zeminy pro analýzy byly odebrány v kontrolní variantě, potom po 9, 16, 23 a 29 dnech inkubace. Vzorky zeminy z válců byly odebírány ze dvou vrstev: 0 až 10 cm (povrchová vrstva) a 10 až 20 cm (podpovrchová vrstva). Pro výpočet redukční aktivity

byly použity rozdíly v počáteční a konečné koncentraci NO_3-N vztažené na 1 den a přepočítané na 1 g sušiny.

Fyzikální a chemické metody

Byla stanovena objemová hmotnost, redukovaná objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, objem kapilárních a nekapilárních pórů, vodní kapilární kapacita (Králová a kol., 1990) pro půdní vzorky z povrchové zkpřené vrstvy (0 až 10 cm) i podpovrchové vrstvy (10 až 20 cm). Výsledky jsou uvedeny v tab. I.

Obsahy NH_4-N , NO_3-N a NO_2-N v půdě byly stanoveny průtokovým analyzátozem FIA STAR 5020 (Tecator, Švédsko) z půdních extraktů v 1% K_2SO_4 (poměr zeminy a extrakčního činidla byl 1 : 5). Relativní chyba určení nitrátů činila 4 %. Extrahovatelný C_{ox} byl stanoven v půdním extraktu 1% K_2SO_4 potenciometrickou titrací (Krejčová et al., 1996) s relativní chybou 0,2 %.

Vzorky plynů o objemu 10 ml byly odebírány z horního prostoru skleněné nádoby. V plynných vzorcích byly změřeny koncentrace N_2O , CO_2 a O_2 plynovým chromatografem Hewlett Packard 5890A za použití ECD a TCD detektorů (Šimek, Kromka, 1993; Šimek, 1998). Měření N_2O-N bylo provedeno s relativní chybou 0,1 %.

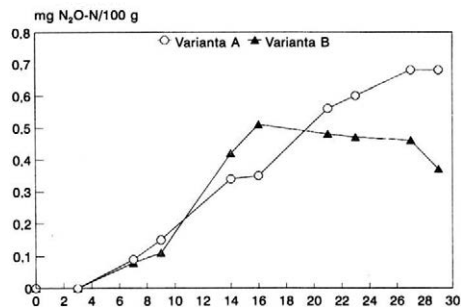
V tab. I a na obr. 1 až 6 jsou uvedeny výsledky analýz přepočítané na 100 g sušiny zeminy. Redox potenciál byl měřen přímo v monolitech speciálně konstruovanou Eh elektrodou (Pt a Ag) v celém profilu 0 až 20 cm. Chyba měření byla ± 25 mV. Hodnoty pH byly opět měřeny přímo v monolitu (0 až 20 cm) pomocí speciálně konstruované skleněné elektrody. Obě elektrody byly vyrobeny v ED Turnov.

Statistické vyhodnocení bylo realizováno z 10 opakování pro všechny dané hodnoty metodou aritmetického průměru, standardní odchylky a korelačním koeficientem.

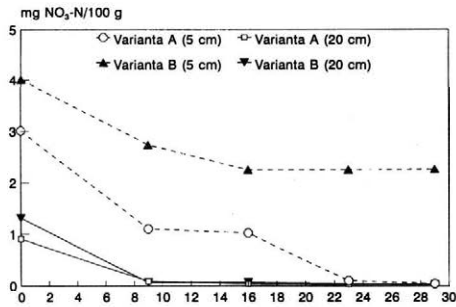
I. Fyzikálně-chemické charakteristiky hnědozemě (Praha-Ruzyně) – Physical and chemical characteristics of orthic Luvisols (Praha-Ruzyně)

	0–10 cm	10–20 cm
Sušina ¹ (105 °C)	82,69 %	85,68 %
Specifická hmotnost ²	2,54 g.cm ⁻³	2,54 g.cm ⁻³
Vodní kapilární kapacita ³	38,05 %	34,47 %
Pórovitost ⁴	39,62 % obj. ⁹	30,51 % obj.
Kapilární póry ⁵	21,57 % obj.	15,76 % obj.
Nekapilární póry ⁶	18,05 % obj.	14,39 % obj.
Objemová hmotnost ⁷	1,51 g.cm ⁻³	1,76 g.cm ⁻³
Redukovaná objemová hmotnost ⁸	1,38 g.cm ⁻³	1,51 g.cm ⁻³
pH (H ₂ O)	6,9–7,1	6,9–7,5

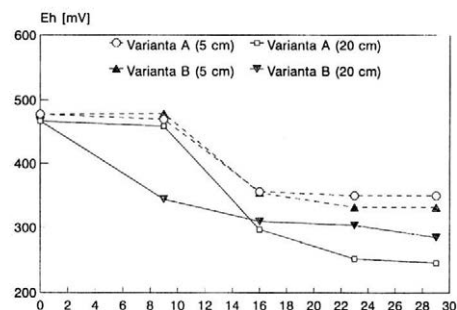
¹soil dried, ²specific weight, ³water holding capacity, ⁴porosity, ⁵water filled pore space, ⁶air filled pore space, ⁷bulk density, ⁸reduced bulk density, ⁹volume



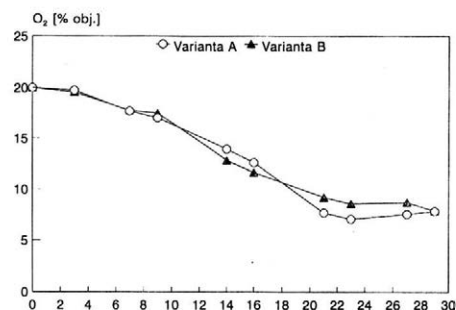
1. Obsah N_2O-N v monolitu hnědozemě – Contents of N_2O-N in soil core of orthic Luvisols



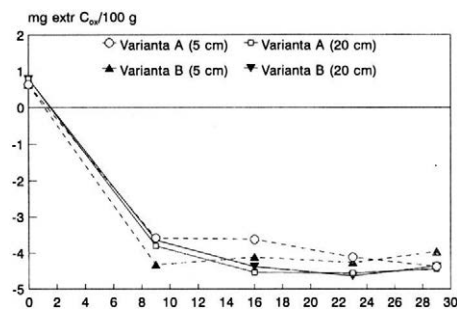
2. Obsah NO_3-N v monolitu hnědozemě – Contents of NO_3-N in soil core of orthic Luvisols



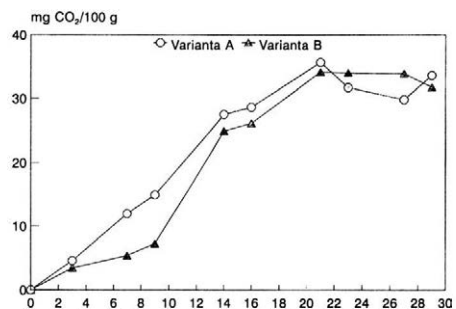
3. Hodnoty redox potenciálu Eh – Values of redox potential Eh



4. Obsah kyslíku v monolitu hnědozemě – Contents of oxygen in soil core of orthic Luvisols



5. Obsah extrahovatelného C_{ex} v monolitu hnědozemě (eliminovaný hodnoty C_{ex} z přidání glukózy) – Contents of extractable C_{ex} in soil core of orthic Luvisols (elimination of C_{ex} values from glucose addition)



6. Kumulativní křivka CO_2 půdního monolitu hnědozemě – Cumulative curve of CO_2 of soil core of orthic Luvisols

Vysvětlivky k obr. 1 až 6 – Explanations to Figs 1 to 6:

varianta A obohacena 5 mg C (glukóza), variant B obohacena 5 mg C a 1 mg N (KNO_3) – variant A enhanced with 5 mg C (glucose), variant B enhanced with 5 mg C and 1 mg N (KNO_3)

přerušovaná čára pro vrstvu 0 až 10 cm, plná čára pro vrstvu 10 až 20 cm (obr. 2, 3, 5) – dotted line for layer 0 to 10 cm, full line for layer 10 to 20 cm (Figs 2, 3, 5)

Emise N_2O z půdního monolitu hnědozemě nasyceného vodou jsou znázorněny na obr. 1. Protože do systému (varianta A) byl aplikován opakovaně acetylen k potlačení N_2O -reduktázy, vzrůstalo postupně množství unikajícího N_2O (denitrifikační aktivita byla $0,28 \mu g N_2O-N \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) a nedocházelo k jeho rozpadu na N_2 . Aplikaci acetylenu podrobně opořádali Mc Kenney et al. (1996) a došli k závěru, že lze pomocí C_2H_2 inhibovat rozpad N_2O kvantitativně. Množství nitrátů se postupně redukovalo (obr. 2) v povrchové i podpovrchové vrstvě po plném nasycení monolitu vodou a po následné inkubaci. Množství redukovaných nitrátů bylo závislé na vstupní koncentraci NO_3-N . Na počátku pokusu ve variantě A byla tato koncentrace třikrát vyšší ve vrstvě povrchové než podpovrchové. Redukční aktivita po devíti dnech inkubace byla v povrchové vrstvě $2 \mu g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$, v podpovrchové vrstvě pak $0,9 \mu g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$, tedy v povrchové vrstvě bylo redukováno dvakrát více nitrátů než ve vrstvě podpovrchové. Po 23 dnech inkubace dosáhly koncentrace NO_3-N stejných hodnot v povrchové i podpovrchové vrstvě ($0,03 mg$ ve $100 g$ sušiny). Pokračující inkubace nezvyšovala množství nitrátů, tzn. že prostředí zůstávalo stále redukční. Hodnoty redox potenciálu (obr. 3) se postupně snižovaly, v podpovrchové vrstvě po 29 dnech dosáhly hodnoty $246 mV$ a $285 mV$ (varianta A a B). V povrchové vrstvě byl pozorován podobný trend, nejnižší naměřená hodnota byla $350 mV$ a $332 mV$ (varianta A a B). Množství nitrátů kolísalo v intervalu 2 až $5 \mu g NO_2-N$ (ve $100 g$ sušiny) v povrchové vrstvě, v podpovrchové vrstvě v intervalu 5 až $6 \mu g NO_2-N$. Množství NH_4-N se pohybovalo v rozmezí $0,7$ až $0,8 mg$ (ve $100 g$ sušiny) v povrchové vrstvě a $0,4 mg NH_4-N$ ve vrstvě podpovrchové. Korelační koeficient emisí N_2O a redukce nitrátů byl $0,90$.

Byli-li do půdního systému (varianta B) aplikován dusík ve formě KNO_3 ($30 kg NO_3-N \cdot ha^{-1}$), zvýšilo se množství emisí během inkubace (obr. 1). Zvýšení odpovídalo množství aplikovaných nitrátů, tj. hodnoty nitrátů byly zvýšeny o jednu čtvrtinu, emise N_2O také. Denitrifikační aktivita byla $0,31 \mu g N_2O-N \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$. Zvýšení množství nitrátů o $1 mg NO_3-N$ (na $100 g$ sušiny) snížilo redukční aktivitu během následujících 9 dnů inkubace při plném nasycení monolitu vodou a hodnoty redukční aktivity pro povrchovou ($1,4 \mu g NO_3-N \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) i podpovrchovou ($1,3 \mu g NO_3-N \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) vrstvu se vyrovnaly. Z tohoto srovnání je patrný význam koncentrace nitrátů před plným nasycením půdy vodou. Hodnoty redox potenciálu (obr. 3) se pohybovaly v intervalu 478 až $332 mV$ pro povrchovou vrstvu, v podpovrchové vrstvě byly hodnoty Eh nižší (467 až $285 mV$). Obsahy nitrátů se pohybovaly mezi $5,4$ a $3,7 \mu g NO_2-N$ v povrchové vrstvě, v podpovrchové vrstvě byly naměřeny koncentrace 3 až $2,5 \mu g NO_2-N$. Obsahy NH_4-N kolísaly v rozmezí $0,12$ až $1,2 mg NH_4-N$ v povrchové vrstvě a $0,06$ až $0,1 mg NH_4-N$ (na $100 g$ sušiny) v podpovrchové

vrstvě. Z těchto hodnot lze usoudit, že nitrifikace neprobíhala.

Hnědozem z honu po seti exaktorem Horsch měla lepší hydrolimity i fyzikální vlastnosti (tab. I) v povrchové vrstvě ve srovnání s vrstvou podpovrchovou. Exaktorem Horsch byla zpracována především vrstva 0 až $6 cm$. V hloubce 10 až $20 cm$ půdního profilu klesla hodnota pórovitosti o 33% , objem kapilárních pórů o 17% a nekapilárních pórů o 11% ve srovnání s vrstvou 0 až $6 cm$. Podpovrchová vrstva měla tyto vlastnosti blízké půdě po bezorebném seti strojem John Deere.

Množství emitovaného N_2O bylo vyšší v půdě s vyšším obsahem nitrátů, nižší pórovitostí a větším počtem nekapilárních pórů při plném nasycení půdy vodou. Loro et al. (1997) zjistili, že nekapilární póry ovlivňují denitrifikaci podobně jako voda. Vysoká pórovitost může vést k denitrifikaci i při nižším nasycení půdy vodou.

Odrzem hydrolimitů bylo i množství kyslíku přítomného v půdním monolitu během inkubace půdy plně nasycené vodou (obr. 4). Obsahy kyslíku postupně klesaly s dobou inkubace, čímž se vytvořil předpoklad pro vznik redukčního prostředí a potvrdila se možnost denitrifikace. Yeo et al. (1992) ukázali, že stupeň denitrifikace v půdním profilu způsobuje nejen nedostatek využitelného C_{org} , ale i úbytek množství O_2 .

Množství extrahovatelného C_{ox} bylo limitujícím faktorem pro stupeň denitrifikace (obr. 5). Ve variantě neobohacené nitráty (A) stejně jako v obohacené variantě (B) množství extrahovatelného C_{ox} prudce klesalo v povrchové i podpovrchové vrstvě půdy (obr. 5). Rozdíl ve spotřebě C_{ox} pro půdní mikroflóru se příliš nelišil s ohledem na hloubku půdní vrstvy monolitu. Vzájemná korelace mezi množstvím emitovaného N_2O a množstvím extrahovatelného C_{ox} byla $0,89$.

Mikrobiální aktivita měřená množstvím CO_2 (obr. 6) odpovídala respirační aktivitě hnědozemě a indikovala dobré mikrobiální podmínky během 29 dnů inkubace půdních monolitů plně nasycených vodou. Hodnoty CO_2 dosahovaly maximálních hodnot 35 až $34 mg CO_2$ (na $100 g$ sušiny) po 21 dnech inkubace jak ve variantě neobohacené (A), tak ve variantě obohacené KNO_3 (B).

ZÁVĚR

Výsledky pokusů ukázaly, že monolity hnědozemě odebrané z polního pokusu lze dobře využít pro studium denitrifikace. Hnědozem, která byla částečně zpracována exaktorem Horsch, měla rozdílné hodnoty hydrolimitů pro povrchovou vrstvu 0 až $10 cm$ (pórovitost $39,6 \%$ obj., objem kapilárních pórů $21,5 \%$ obj., objem nekapilárních pórů 18% obj.) a podpovrchovou vrstvu 10 až $20 cm$ (pórovitost $30,5 \%$ obj., objem kapilárních pórů $15,7 \%$ obj., objem nekapilárních pórů $14,4 \%$ obj.). Denitrifikační aktivita pro inkubovanou půdu plně nasycenou vodou byla naměřena $0,28 \mu g N_2O-N \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$. Zvýšené množství nitrátů v povrchové

vrstvě zvýšilo redukční aktivitu na $2 \mu\text{g NO}_3\text{-N.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$, zatímco v podpovrchové vrstvě byla nižší redukční aktivita ($0,9 \mu\text{g NO}_3\text{-N.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$) i obsah nitrátů. Zvýšil-li se obsah nitrátů (o $1 \text{ mg NO}_3\text{-N}$ ve 100 g sušiny), pak redukční aktivita dosáhla hodnoty $1,4 \mu\text{g NO}_3\text{-N.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ v povrchové vrstvě a $1,3 \mu\text{g NO}_3\text{-N.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ve vrstvě podpovrchové. Během inkubace nebyla pozorována nitrifikace.

Byla-li hnědozem minimálně zpracována secím strojem John Deere, byly hodnoty hydrolimity (pórovitost $32,3 \%$ obj., objem kapilárních pórů $17,8 \%$ obj., objem nekapilárních pórů $14,4 \%$ obj.) blízké hodnotám pro podpovrchovou vrstvu částečně zpracované hnědozemě (Králková, Růžek, 1998). Pro vrstvu povrchovou i podpovrchovou byla naměřena redukční aktivita $0,5 \mu\text{g NO}_3\text{-N.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Při inkubaci monolitů se střídaly nitrifikační a denitrifikační procesy.

Redox potenciál Eh v monolitech hnědozemě částečně zpracovaných exaktorem Horsch a plně nasycených vodou se pohyboval v povrchové vrstvě v rozmezí 478 až 350 mV (varianta A) a 478 až 332 mV (varianta B) po 29 dnech inkubace. V podpovrchové vrstvě byly naměřeny hodnoty nižší: 246 mV (varianta A) a 285 mV (varianta B).

Limitujícím faktorem denitrifikace zůstalo v půdě množství extrahovatelného C_{ox} , resp. O_2 vedle koncentrace $\text{NO}_3\text{-N}$.

Poděkování

Analýzy plynů provedl Ing. M. Šimek, CSc., z Ústavu půdní biologie AV ČR v Českých Budějovicích a byly umožněny díky finanční podpoře grantu GA ČR *Mikrobiální aspekty emisí oxidu uhličitého, oxidu dusného a metanu z orných půd*, reg. č. 206/96/0169.

Výsledky byly získány při řešení projektu MZe ČR č. EP 0960006477.

LITERATURA

BALKWILL, D. L. – GHIORSE, W. C.: Characterization of subsurface bacteria associated with two shallow aquifers in Oklahoma. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50, 1985: 580–588.

FRANCIS, A. J. – SLATER, J. M. – DODGE, C. J.: Denitrification in deep subsurface sediments. *Geomicrob. J.*, 7, 1989: 103–116.

CHRISTENSEN, S. – SIMKINS, S. – TIEDJE, J. H.: Spatial variation in denitrification. Dependency of activity centers on the soil environment. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 54, 1990a: 1608–1613.

CHRISTENSEN, S. – SIMKINS, S. – TIEDJE, J. H.: Temporal patterns of soil denitrification. Their stability and causes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 54, 1990b: 1614–1618.

KRÁLOVÁ, M. – RŮŽEK, P.: Denitrifikace v hnědozemí s minimálním zpracováním půdy. *Rostl. Vyr.*, 44, 1998: 403–407.

KRÁLOVÁ, M. a kol.: Vybrané metody chemické analýzy půd a rostlin. Studie 12. Praha, Academia 1990: 57–59.

KREJČOVÁ, J. – KRÁLOVÁ, M. – RŮŽEK, P. – ZIKOV, I.: Stanovení půdního uhlíku titračně a potenciometricky. *Rostl. Vyr.*, 42, 1996: 115–117.

LORO, P. J. – ERGSTROM, D. W. – BEAUCHAMP, E. G.: Intensity and duration of denitrification following application of manure and fertilizer to soil. *J. Environ. Qual.*, 26, 1997: 706–713.

McKENNEY, D. J. – DRURY, C. F. – WANG, S. W.: Effect of acetylene on nitric oxide production in soil under denitrifying conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 60, 1996: 811–820.

RICE, C. W. – ROGERS, K. I.: Denitrification in subsurface environments: Potential source for atmospheric nitrous oxide. *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. ASA Spec. Publ. No. 55, 1993.

RONEN, D. – MAGARITZ, M. – ALMON, E.: Contaminated aquifers are a forgotten component of the global N_2O budget. *Nature (London)*, 335, 1998: 57–59.

ŠIMEK, M.: Vliv hnojení a půdních vlastností na denitrifikaci ve vybraných orných půdách České republiky. *Rostl. Vyr.*, 44, 1998: 395–402.

ŠIMEK, M. – KROMKA, M.: Denitrifikace jako parametr biologické aktivity půdy. *Rostl. Vyr.*, 39, 1993: 797–804.

WILSON, G. B. – ANDREWS, J. N. – BATH, A. H.: Dissolved gas evidence for denitrification in the Lincolnshire limestone aquifer groundwater, eastern England. *J. Hydrol. (Amsterdam)*, 113, 1990: 51–60.

YEOMANS, C. – BREMNER, J. M. – McCARTY, G. W.: Denitrification capacity and denitrification potential of subsurface soils. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 23, 1991: 919–927.

Došlo 26. 5. 1998

Kontaktní adresa:

Ing. Marie Králová, DrSc., Výzkumný ústav rostlinné výroby, Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, Česká republika, tel.: 02/33 02 21 11, fax: 02/36 52 28

Upozornění pro autory vědeckých časopisů

Z důvodu rychlejšího a kvalitnějšího zpracování grafických příloh (grafů, schémat apod.) příspěvků zasílaných do redakce Vás žádáme o jejich dodání kromě tištěné formy i na disketách.

Pérovky mohou být zpracovány jako předloha pro skenování nebo mohou být dodány též jako bitmapa ve formátu ***.TIF** (600 DPI). Pro skenování by grafy neměly obsahovat šedivé plochy. Místo šedí se mohou použít různé typy černobílého šrafování.

Grafy je třeba dodat **včetně zdrojových dat** (jako tabulku) v programu EXCEL.

Prosíme **nezasílejte** obrázky ve formátu **Harvard Graphics**, nýbrž vyexportované do některého z výše uvedených formátů.

Redakce časopisu

POROVNÁNÍ NĚKTERÝCH METOD PRO STANOVENÍ MĚDI, ZINKU, MANGANU A ŽELEZA V PŮDÁCH

COMPARISON OF SOME METHODS FOR DETERMINATION OF COPPER, ZINC, MANGANESE AND IRON IN SOILS

J. Zbíral, P. Němec

Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno, Czech Republic

ABSTRACT: The soil extraction procedure using DTPA extracting solution for the determination of copper, zinc, manganese and iron was introduced by Lindsay, Norvell (1978). The method proved to be relatively sensitive to experimental conditions especially to the temperature during extraction, extraction time and extraction intensity (Soltanpour et al., 1976; Lindsay, Norvell, 1978). Since 1978 the extraction procedure according to Lindsay, Norvell (1978) has become very popular and widely used in many countries of the world and international standardization of the procedure is now in the final stage. The internationally adopted procedure (DTPA-ISO) uses lower extraction temperature and higher extraction intensity than our national procedure (DTPA-CZ). The criteria for evaluation of the results for DTPA-CZ method were based on the field and pot experiments. The main reason for this study was to find whether recalculation of these criteria defined for DTPA-CZ method was possible for DTPA-ISO method and to avoid expensive field and pot experiments. The second goal of this study was to find a relationship between the DTPA-ISO (resp. DTPA-CZ) method and the Mehlich III method (Mehlich, 1984). The Mehlich III method (M III) is very suitable for simultaneous determination of macronutrients (K, P, Mg, Ca) and micronutrients and the method is very popular in many countries of the world. The M III method is very similar to the Mehlich II method, extensively used in the Czech Republic for nutrient determination and fertilizer recommendation. 95 soil samples from soil monitoring plots were collected for the study. The samples represented all major soil types, climatic regions and proportion of agronomic cultures in the Czech Republic (arable soil 79, grassland 9, orchards 4, hoggardens 1, vineyards 2). Samples were air-dried and a fraction under 2 mm in diameter was used for analysis. Samples were extracted and analyzed by all three methods (DTPA-ISO, DTPA-CZ, M III) in triplicates. Regression analysis clearly showed for DTPA-ISO and DTPA-CZ that the results achieved by both methods for all four elements are very near, and no recalculation of the criteria is needed. That means the expected increase in the results for the DTPA-ISO method by higher extraction intensity was compensated by the decrease due to the lower extraction temperature. It means from a practical point of view that laboratories in the Czech Republic can adopt the international standard procedure without changing the criteria for the evaluation of the results. We can conclude from regression analysis of the results for the DTPA-ISO and M III methods that the correlation for copper and zinc is very good and the recalculation of the criteria is possible according to the equations: $Cu_M\ III = 0.426 + 1.514\ Cu_DTPA-ISO$; $Zn_M\ III = 0.408 + 1.802\ Zn_DTPA-ISO$. For iron and manganese the correlation is not suitable for the recalculation of the criteria. The determination of iron and manganese by the M III extracting solution would require more precise calibration of the method based on field and pot experiments. The M III method is very suitable for simultaneous determination of nutrients, copper and zinc, where the criteria for evaluation can be recalculated. When only micronutrients are to be determined, or iron and/or manganese are required, the DTPA-ISO method should be used for the determination.

soil extraction; DTPA; Mehlich III; micronutrients

ABSTRAKT: Na souboru 95 půd, které reprezentovaly hlavní půdní typy půd ČR, byly stanoveny prvky měď, zinek, mangan a železo dvěma variantami extrakčního postupu roztokem DTPA podle Lindsaye a Norvella (podle připravované mezinárodní normy ISO 14870 – DTPA-ISO, podle postupu používaného v ČR – DTPA-CZ) a extrakčním postupem podle Mehlicha III (M III). Z regresní analýzy výsledků vyplývá, že rozdíly mezi variantami extrakčního postupu DTPA jsou nevýznamné a je možné přejít na variantu postupu podle mezinárodní normy bez změny kritérií hodnocení. Korelační koeficienty lineární regrese byly: $Cu = +0,970$; $Zn = +0,964$; $Mn = +0,939$; $Fe = +0,913$. Z porovnání extrakčních postupů DTPA a M III je zřejmé, že pro měď a zinek je velmi těsná korelace mezi oběma postupy (korelační koeficient $Cu = +0,858$; $Zn = +0,879$) a je možné přepočítat kritéria metody DTPA pro metodu M III. Pro železo a mangan je závislost mezi metodou DTPA a metodou M III komplikovanější a přepočet kritérií není možný.

extrakce půd; DTPA; Mehlich III; mikroelementy

ÚVOD

V rámci mezinárodních norem ISO byla přijata varianta postupu extrakce půd pro stanovení mikroelementů (DTPA-ISO) odlišná od našeho národního postupu (DTPA-CZ). Vzhledem k různé intenzitě styku půdy s extrakčním činidlem a nižší teplotou při extrakci se očekávala změna výsledků. Pro možnost přechodu na postup podle normy ISO bylo třeba tento posun definovat a příslušně upravit hodnotící kritéria. Vzhledem k tomu, že norma ISO předpokládá i možnost stanovení některých cizorodých prvků v extraktu DTPA, bylo stanovení rozšířeno o tyto prvky. V celé řadě zemí je využíván univerzální extrakční postup podle Mehlich III (M III) i pro stanovení mikroelementů, proto bylo na zkoumaném souboru vzorků provedeno stanovení mědi, zinku, manganu a železa touto metodou s cílem zjistit vztah mezi extrakcí podle metody, kterou uveřejnili Lindsay, Norvell (1978), a podle Mehlich III (Mehlich, 1984).

Reakci DTPA s mědí, zinkem, železem a manganem popsal Norvell, Lindsay (1972). Soltau et al. (1976) se zabývali faktory, které ovlivňují extrakci mikroelementů tímto extrakčním činidlem. Lindsay, Norvell (1978) publikovali metodu na stanovení obsahu přístupných mikroelementů v půdách s použitím tohoto chelatačního činidla. Studium vlivů na extrakci roztokem DTPA a porovnání s jinými extrakčními postupy byla věnována celá řada prací (z posledních např. Abreau et al., 1997; García et al., 1997). Na pracovišti ÚKZÚZ v Brně byla v rámci zavádění metody podle Lindsay a Norvella provedena podrobná studie parametrů, které ovlivňují extrakci mědi, zinku, železa a manganu touto metodou. Byl ověřen vliv teploty při extrakci, doby extrakce, úpravy vzorku a intenzity styku zeminy s extrakčním činidlem v průběhu extrakce (Studený et al., 1987). Další studie (Panýr et al., 1986) se zabývala především vlivem extrakční doby na extrakci. Na základě výsledků těchto studií byl optimalizován postup, který vykazoval minimální variabilitu výsledků, a bylo pro něj možné použít stávající přístrojové vybavení ústavu. Závěry z těchto testů byly v dobré shodě s publikovanými výsledky a lze je shrnout takto:

1. Jde o metodu, při které nedochází k dosažení rovnovážného stavu mezi koncentrací prvků v pevné a kapalné fázi, proto je tato metoda vysoce závislá na přesném dodržení experimentálních podmínek.
2. Úroveň dosažení rovnováhy závisí na půdním typu a na stanoveném prvku (pro železo a zvláště mangan není rovnováha dosažena ani po několika dnech extrakce).
3. Intenzita styku vzorku s extrakčním roztokem má zásadní vliv na výsledky, proto je třeba dodržet i geometrii extrakčních nádobek, typ třepačky a intenzitu třepání.
4. Teplota extrakčního roztoku a teplota při extrakci mají zásadní vliv na výsledky.
5. Dodržení nastaveného pH při extrakci je nezbytné zvláště při stanovení železa a manganu (nutnost kontroly pro vzorky s velmi nízkým pH).

6. Měření stanovených parametrů jak metodou plamenové atomové absorpční spektrofotometrie, tak metodou optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem je bezproblémové a variabilita výsledků je způsobena ve většině případů variabilitou parametrů při extrakci.

Metoda stanovení mědi, zinku, manganu a železa podle Lindsay a Norvella se stala celosvětově používanou a uznávanou metodou a bylo přistoupeno k její normalizaci v rámci ISO TC 190 – Soil quality (ISO, 1997). Protože se přijatá norma liší v extrakční teplotě a intenzitě extrakce od našeho optimalizovaného národního postupu, bylo nutné ověřit vliv těchto změn na výsledky stanovení.

MATERIÁL A METODA

Vzorky

Pro analýzy byl použit soubor 95 vzorků odebraných v rámci monitoringu zemědělských půd (Zbítal, 1995). Vybrané vzorky reprezentovaly poměrně zastoupení hlavních půdních typů ČR, kultur a agrochemických vlastností. 79 vzorků bylo odebráno z orné půdy, 9 z trvalých travních porostů, 4 ze sadů, 2 z vinic a 1 z chmelnic. Podle klasifikačního systému půd (Hraško a kol., 1991) obsahoval soubor 2 vzorky černice, 9 vzorků černozemě, 12 vzorků fluvizemě, 6 vzorků gleje, 15 vzorků hnědozemě, 33 vzorků kambizemě, 6 vzorků luvizemě, 6 vzorků pseudogleje, 3 vzorky rendziny a 3 vzorky regozemě. Vzorky byly vysušeny na vzduchu, upraveny na velikost částic pod 2 mm a ručně homogenizovány. Každý vzorek byl každou z uvedených metod analyzován ve třech paralelních stanoveních.

Extrakční postupy

Extrakční roztok DTPA se skládá z trietanolaminu $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$, chloridu vápenatého $0,01 \text{ mol.l}^{-1}$, kyseliny diethylentriaminopentaacetové (DTPA) $0,005 \text{ mol.l}^{-1}$, pH 7,3. V obou variantách bylo navažováno 10 g vzorku a extrahováno 20 ml extrakčního roztoku. Doba extrakce byla 120 min. Varianta DTPA-ISO používá teplotu při extrakci $20 \pm 2^\circ\text{C}$, extrakce probíhá na rotační třepačce při 30 ± 3 otáčkách za 1 min. Varianta DTPA-CZ používá teplotu $24 \pm 1^\circ\text{C}$, extrakce probíhá na horizontální třepačce při 164 ± 4 kyvech za 1 min. Extrakční roztok podle Mehlich III se skládá z kyseliny octové $0,2 \text{ mol.l}^{-1}$, dusičnanu amonného $0,25 \text{ mol.l}^{-1}$, fluoridu amonného $0,015 \text{ mol.l}^{-1}$, kyseliny dusičné $0,013 \text{ mol.l}^{-1}$, a kyseliny etyldiaminotetraacetové (EDTA) $0,001 \text{ mol.l}^{-1}$. Extrakce probíhá na rotační třepačce po dobu 10 min. 10 g půdy se extrahuje 100 ml extrakčního roztoku.

Přístroje a zařízení

Stanovení jednotlivých prvků bylo prováděno metodou atomové absorpční spektrofotometrie v plameni ace-

tylen-vzduch. V případě kadmia a olova byl pro zvýšení citlivosti stanovení použit křemenný koncentrátor atomů (ACT). Měření bylo vyhodnocováno metodou kalibrační křivky. Pro měření byl použit atomový absorpční spektrofotometr SpectraAA 300 od firmy Varian s příslušnými dutokatodovými výbojkami. Rozsah kalibračních křivek a jejich příprava proběhla podle Jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ (Zbírka I, 1996).

Pro extrakci půd byla pro postup DTPA-CZ použita třepačka LT-1 (Laboratorní přístroje, Praha). Extrakce podle Mehlich III a DTPA-ISO byla realizována v rotační stomistné třepačce určené pro extrakci půdních živin. Nádoby pro objem 250 ml umístěné ve společném držáku po deseti byly uzavírány společným pákovým uzávěrem, který byl vyložen mikrotenovou fólií tak, aby nemohlo dojít k přímému styku pryžového těsnění a extrakčního činidla. V každé sérii byl zařazen potřebný počet slepých stanovení.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z rozdílů paralelních měření vyplynulo, že variabilitu výsledků paralelních stanovení je možné zanedbat. Pro výpočet základních statistických parametrů a regresní analýzu byly použity aritmetické průměry paralelních stanovení. Základní statistické zpracování podle vybraných parametrů vzorků (pH/KCl, základní živiny v extraktu půdy podle Mehlich III a stanovené parametry v rámci studie) je uvedeno v tab. I.

Data byla statisticky analyzována lineárně-regresním a korelačním počtem. Po vyloučení extrémních hodnot vykazovala data normální rozdělení. Výsledky shrnuje tab. II.

Z výsledků regresní analýzy je zřejmé, že mezi postupem DTPA-CZ a postupem DTPA-ISO je velmi těsná korelace. Pro měď a zinek jsou výsledky prakticky totožné. Pro mangan a železo je rozdíl vzhledem k povolené chybě stanovení a k chybě určení hodnot kritérií nevýznamný. Pro žádný prvek tedy není nutná jakákoliv úprava kritérií z důvodu přechodu na postup extrakce podle normy ISO. Grafické vyjádření regresní analýzy je uvedeno na obr. 1.

Vztah mezi extrakcí DTPA-ISO (vzhledem k úzkému vztahu platí i pro DTPA-CZ) a extrakcí podle Mehlich III (M III) je opět pro měď a zinek velmi těsný a přepočty kritérií podle rovnic uvedených v tab. II je možný. Pro oba tyto prvky jsou obsahy stanovené metodou podle Mehlich III o 50 až 80 % vyšší než při extrakci DTPA. Možnost přepočtu kritérií je velmi významná pro další využití metody podle Mehlich III, kdy kromě běžných živin je možné s velmi dobrou interpretační schopností stanovit i obsah mědi a zinku – tedy nejčastěji stanovované mikroelementy. Grafické vyjádření regresní analýzy dat pro metodu DTPA-ISO a M III je uvedeno na obr. 2.

Pro mangan a železo není možné spolehlivě určit závislost mezi oběma metodami. Výsledky pro tyto prvky jsou uvedeny na obr. 2 pouze formou bodového pole.

I. Popisná statistika sledovaného souboru 95 vzorků půd ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) – Descriptive statistics of 95 soil samples under study ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Parametr ¹		Aritmetický průměr ²	Medián ³	Min	Max	Dolní kvartil ⁴	Horní kvartil ⁵
pH/KCl		6,3	6,5	4,1	7,8	5,8	6,9
P – M III		112	102	11	365	66	138
K – M III		214	188	47	1 150	138	247
Mg – M III		209	177	44	832	127	250
Ca – M III		2 753	2 228	880	10 938	1 733	3 199
Cu	DTPA-CZ	2,03	1,49	0,43	17,7	1,05	2,08
	DTPA-ISO	2,11	1,60	0,45	16,0	1,14	2,21
	M III	3,55	2,80	0,50	30,0	1,93	3,75
Zn	DTPA-CZ	3,16	1,75	0,29	80,5	1,26	3,00
	DTPA-ISO	3,47	2,13	0,65	87,7	1,50	3,13
	M III	6,73	4,17	1,50	147	3,20	5,55
Mn	DTPA-CZ	44,4	39,3	5,17	144	21,5	53,9
	DTPA-ISO	48,4	44,1	7,53	144	26,8	61,7
	M III	126	117	13,7	384	93,0	155
Fe	DTPA-CZ	64,8	51,6	8,0	318	30,3	78,5
	DTPA-ISO	73,4	59,8	8,7	453	32,6	87,3
	M III	372	378	73,3	1 882	269	437
Pb – DTPA-ISO		2,10	1,51	0,55	25,0	1,25	2,23
Cd – DTPA-ISO		0,13	0,09	0,03	2,23	0,08	0,13
Ni – DTPA-ISO		1,06	0,73	0,14	4,85	0,45	1,35
Co – DTPA-ISO		0,20	0,14	0,02	1,19	0,08	0,24

¹ parameter, ² arithmetical mean, ³ median, ⁴ lower quartile, ⁵ upper quartile

	Parametr ¹	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	Významnost ²
DTPA-ISO = <i>Y</i> DTPA-CZ = <i>X</i>	Cu (<i>n</i> = 89)	0,1498	0,9695	0,9696	++
	Zn (<i>n</i> = 92)	0,1733	1,0371	0,9641	++
	Mn (<i>n</i> = 89)	6,880	0,9287	0,9390	++
	Fe (<i>n</i> = 78)	2,617	1,1003	0,9127	++
M III = <i>Y</i> DTPA-ISO = <i>X</i>	Cu (<i>n</i> = 90)	0,4260	1,514	0,8576	++
	Zn (<i>n</i> = 87)	0,4076	1,802	0,8790	++

a – absolutní člen – intercept

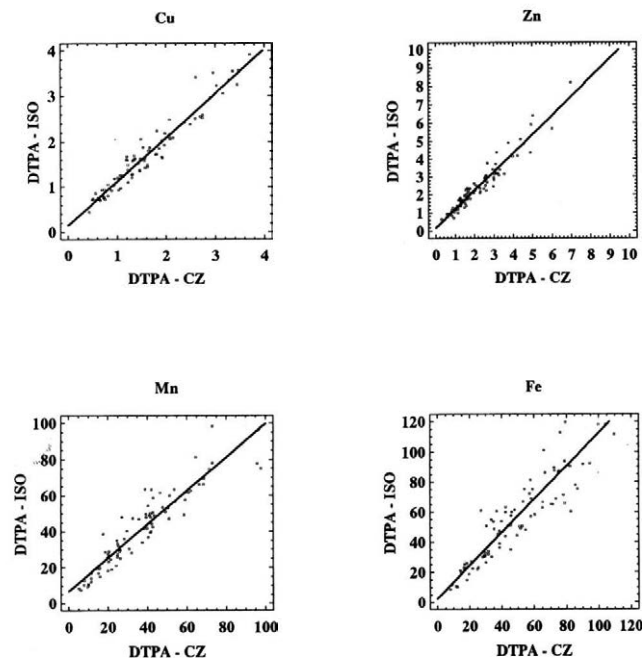
b – regresní koeficient – slope

r – koeficient korelace – correlation coefficient

++ výsoce významný na hladině 99 % – highly significant at the 99% level

n – počet vzorků po vyloučení extrémních hodnot – number of samples after rejection of extreme values

¹ parameter, ² significance

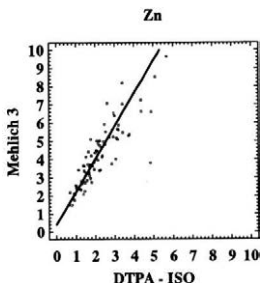
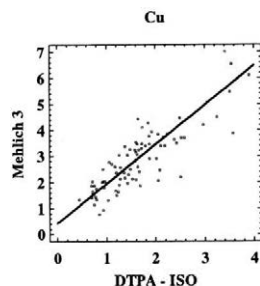


1. Regresní křivky pro měď, zinek, mangan a železo, DTPA-ISO a DTPA-CZ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) – Regression curves for copper, zinc, manganese and iron, DTPA-ISO and DTPA-CZ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

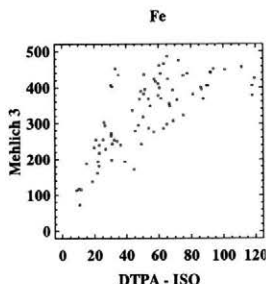
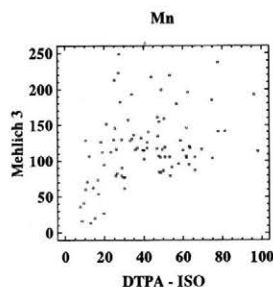
Z popisné statistiky souboru vzorků (tab. I) je zřejmé, že byl vybrán dostatečně reprezentativní soubor půdních vzorků. Z výsledků stanovení olova, kadmia, niklu a kobaltu vyplývá, že extrakce podle Lindsaye a Norvella umožňuje stanovit i tyto prvky s dostatečnou přesností i při použití plamenové atomové absorpční spektrofotometrie. Pouze při stanovení chromu byly všechny měřené hodnoty pod mezí stanovitelnosti použité metody. Využití tohoto extrakčního činidla pro určení některých rizikových prvků by mohlo být významné při posuzování jejich přijatelnosti, resp. mobi-

lizovatelnosti a vhodně by mohlo doplnit extrakční postupy používané v současné době.

Z výsledků pokusů je zřejmé, že očekávaný pokles hodnot vlivem snížení teploty při extrakci DTPA-ISO je vyvážěn vyšší intenzitou extrakce na rotační třepačce a postup podle ISO 14870 je možné zavést do Jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ bez jakékoliv úpravy kritérií pro vyhodnocení. Extrakční postup podle Mehlich III je velmi vhodný pro současné stanovení základních živin a mědi a zinku. Tato skutečnost je velmi významná, protože může přispět ke snížení nákladů na



2. Regresní křivky pro měď, zinek a bodové pole pro mangan a železo, M III a DTPA-ISO (mg.kg^{-1}) – Regression curves for copper, zinc and x-y plot for manganese and iron, M III and DTPA-ISO (mg.kg^{-1})



analýzu, především při využití moderních simultánních analytických metod (OES-ICP).

LITERATURA

- ABREU, C. A. DE – ABREU, M. F. DE – SOARES, L. H. – DEANDRADE, J. C.: The effects of DTPA extraction conditions on the determination of micronutrients in Brazilian soils. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 28, 1997 (1–2): 1–11.
- GARCÍA, I. – IORIO, A. F. DE – BARROS, M. – BARGIELA, M. – RENDINA, A.: Comparison of soil tests to determine micronutrient status in Argentina soils. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 28, 1997 (19–20): 1777–1792.
- HRAŠKO, J. a kol.: Morfogenetický klasifikační systém půd ČSFR. 2. vyd. Bratislava, VÚPÚ 1991.
- LINDSAY, W. I. – NORVELL, W. A.: Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Amer. J.*, 42, 1978: 421–428.
- MEHLICH, A.: Mehlich No 3 extractant: A modification of Mehlich No 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 15, 1984 (12): 1409–1416.

- NORVELL, W. A. – LINDSAY, W. L.: Reactions of DTPA chelates of iron, zinc, copper, and manganese with soils. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 36, 1972: 778–783.
- PANÝR, M. – DAVIDOVÁ, M. – SLEZÁKOVÁ, J.: Zpráva o prověření vhodnosti metodického postupu při stanovení mikroelementů v půdách ve výluhu DTPA podle Lindsaye a Norvella. [Zpráva.] Praha, ÚKZÚZ 1986.
- SOLTANPOUR, P. N. – KHAN, A. – LINDSAY, W. L.: Factors affecting DTPA extractable Zn, Fe, Mn and Cu from soils. *Commun. Soil Sci. Pl. Anal.*, 7, 1976 (9): 797–821.
- STUDENÝ, M. – KYLAROVÁ, J. – ZBÍRAL, J.: Stanovení mědi, zinku, manganu a železa v DTPA výluhu půdy. *Agrochémia*, 27, 1987 (7): 217–218.
- ZBÍRAL, J.: Monitoring of agriculture soils in the Czech Republic. *Envir. Monit. Assessm.*, 34, 1995: 175–178.
- ZBÍRAL, J.: JPP ÚKZÚZ – Analýza půd II. Kap. 2.1. Brno, ÚKZÚZ 1996.
- Soil quality: Extraction of trace elements by buffered DTPA solution. ISO/DIS 14870. Int. Org. Stand. 1996.

Došlo 9. 2. 1998

Kontaktní adresa:

RNDr. Jiří Zbírál, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Hroznová 2, 656 06 Brno, Česká republika, tel.: 05/43 21 23 94, fax: 05/43 21 73 25, e-mail: zbiral@lo.zeus.cz

INZERCE

Redakce časopisu nabízí tuzemským i zahraničním firmám možnost inzerce na stránkách časopisu ROSTLINNÁ VÝROBA. Prostřednictvím inzerátů uveřejňovaných v našem časopise budou o vašich výrobcích informováni pracovníci z výzkumu a provozu u nás i v zahraničí.

Bližší informace získáte na adrese:

Redakce časopisu ROSTLINNÁ VÝROBA
k rukám RNDr. E. Stříbrné
Ústav zemědělských a potravinářských informací
Slezská 7
120 56 P r a h a 2

ADVERTISEMENT

The Editors of the journal offer to the Czech as well as foreign firms the possibility of advertising on pages of the ROSTLINNÁ VÝROBA (Plant Production) journal. Through your adverts published in our journal, the specialists both from the field of research and production will be informed about your products.

For more detailed information, please contact:

ROSTLINNÁ VÝROBA
attn. RNDr. E. Stříbrná
Ústav zemědělských a potravinářských informací
Slezská 7
120 56 P r a h a 2

ZMĚNY OBSAHU KADMIA V ROSTLINÁCH PO APLIKACI ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

VARIATIONS OF CADMIUM CONTENT IN PLANTS AFTER SEWAGE SLUDGE APPLICATION

J. Balík, P. Tlustoš, J. Száková, D. Pavlíková, M. Balíková, R. Blahník

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The effect of sewage sludge on cadmium (Cd) content in plants was examined in vegetation pot trials. Two types of sludge with average Cd content were used. Experiments were conducted in three soils (Chernozem, Orthic Luvisol, Fluvisol) and on four crops (poppy, barley, corn, oats). Direct and subsequent effects of sewage sludge were studied. A Varian SpectraAA-40 apparatus were used for Cd determination. A trend of elevated Cd content in plants was observed at the dose used (16.65 g dry matter/5 kg soil). The highest contents were determined in barley straw and poppy seed, the lowest in barley grain. Cd content in the soil was also determined after the use of various extraction agents (2M HNO₃, 0.1M CaCl₂, 0.01M CaCl₂). An average Cd proportion in 2M HNO₃ was 60.2% out of Cd_{tot} in soils. When 0.1M CaCl₂ was used, 3.9 to 19.9% of the total Cd quantity in soils were released in dependence on the soil. 0.01M CaCl₂ extracted less than 1% of Cd_{tot} (except Pferov n/L soil). The closest relation between Cd content in plants and extractable Cd quantity from soil was determined for 0.1M CaCl₂ extraction.

sewage sludge; cadmium; Cd content in plants; soil extractants

ABSTRAKT: V nádobových vegetačních pokusech byl sledován vliv čistírenských kalů na obsah kadmia (Cd) v rostlinách. Byly použity dva různé kaly o průměrném obsahu Cd. Pokusy proběhly na třech různých zemínách (černozem, hnědozem, fluvizem) a se čtyřmi různými plodinami (mák, ječmen, kukuřice, oves). Bylo ověřováno přímé i následné působení čistírenských kalů. Ke stanovení Cd byl použit přístroj Varian SpectraAA-40. Při dávce 16,65 g sušiny/5 kg zeminy byla zjištěna po aplikaci kalů tendence ke zvýšenému obsahu Cd v rostlinách. Nejvyšší obsahy byly stanoveny v slámě ječmene a v semeni máku, nejnižší v zru ječmene. Dále byl sledován obsah Cd v půdě při použití různých extrakčních činidel (2M HNO₃, 0,1M CaCl₂, 0,01M CaCl₂). Průměrný podíl Cd v 2M HNO₃ činil 60,2 % z Cd_{tot} v půdách. Při použití 0,1M CaCl₂ bylo uvolněno v závislosti na zemině 3,9 až 19,9 % z Cd_{tot} v půdách. U 0,01M CaCl₂ bylo extrahováno méně než 1 % z Cd_{tot} (s výjimkou zeminy Pferov n/L). Nejvyšší závislost mezi obsahem Cd v rostlinách a extrahovatelným množstvím Cd z půdy byla stanovena u výluhu 0,1M CaCl₂.

čistírenské kaly; kadmium; obsah Cd v rostlinách; půdní extraktanty

ÚVOD

V ČR se v posledních pěti až osmi letech zvyšují množství čistírenských kalů, která jsou aplikována na zemědělskou půdu. Vedle řady pozitivních účinků (obsah organických látek, obsah živin) stoupá však nebezpečí znečištění půd organickými polutanty a rizikovými prvky. V našich sledováních jsme se zaměřili na problematiku kadmia (Cd). Značné nebezpečí Cd je zvláště zejména jeho vysokou mobilitou v půdě a poměrně snadným transferem do rostlin. Proto je v řadě sdělení uváděno významné zvýšení obsahu Cd v rostlinách na pozemcích dlouhodobě hnojených čistírenskými kaly (Sauerbeck et al., 1991; Eder, 1996). S ohledem na komplexní působení čistírenských kalů na půdní vlastnosti (Poletschny, 1996) jsou však publikovány i odlišné výsledky. Jak uvádějí Werner, Birke

(1988), nebyly zjištěny zvýšené obsahy Cd v rostlinách ani po 25leté aplikaci čistírenských kalů v dávce 1,5 t sušiny/ha za rok. Přitom celkový obsah Cd v půdě vzrostl o 12 %.

Cílem práce bylo určit vliv aplikace čistírenských kalů na obsah Cd v rostlinách a dále sledovat obsahy Cd v půdě při použití různých extrakčních činidel a jejich vztah k příjmu Cd rostlinami.

MATERIÁL A METODA

Čistírenské kaly byly testovány v nádobových pokusech v letech 1995 a 1996 (tab. I). Byly použity tři zeminy z lokalit Suchdol (černozem), Č. Újezd (hnědozem) a Pferov n/L (fluvizem) (tab. II). Navážka suché zeminy činila 5 kg na nádobu. Za kontrolní variantu

Prvek ¹	Praha	Písek	Referenční materiál ² BCR-144	
	mg/kg		mg/kg	
			certifikováno ³	nalezeno ⁴
Cd	5,57 ± 0,22	3,22 ± 0,10	3,41 ± 0,25	3,28

¹element, ²reference material, ³certified, ⁴determined

II. Agrochemická charakteristika půd – Agrochemical characteristics of soils

Zemina ¹	C _{org} (%)	pH/KCl	KVK (mval/kg)	Cd (mg/kg)
Č. Újezd	1,54	7,04	145	0,33 ± 0,01
Suchdol	2,29	7,23	180	0,37 ± 0,06
Přerov n/L	0,96	6,61	75	0,36 ± 0,05

Referenční materiál²: RM Silty Clay Loam (Analytika Co., Ltd.)

Certifikováno³: 0,32 ± 0,04 mg Cd/kg

Nalezeno⁴: 0,33 ± 0,02 mg Cd/kg

¹soil, for 2–4 see Tab. I

bylo považováno hnojení NPK. Kal byl dodán v čerstvém stavu a v množství odpovídajícím v přepočtu 16,65 g sušiny na nádobu. Kal byl aplikován pouze v roce 1995, v roce 1996 bylo sledováno jeho následné působení. Nádobky byly zavlažovány deionizovanou vodou. Vlhkost zeminy byla udržována na 60 % MVK. Kukuřice byla sklizena při výšce porostu cca 100 cm, oves v mléčně-voskové zralosti, mák a ječmen v plné zralosti. Každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních. Po sklizni nadzemní hmoty byla zemina z jednotlivých variant vysušena, uskladněna a použita v roce 1996 pro následnou plodinu. V roce 1996 bylo u všech variant hnojeno NPK. Podrobnější popis metodiky uvádějí Balík et al. (1998). Cd v kalcích, v zeminách i v rostlinné hmotě bylo stanoveno ve Stopové laboratoři katedry chemie ČZU Praha. Bylo použito atomové absorpční spektrometrie (přístroj Varian SpectraAA-40). Rostlinná hmota byla po homogenizaci rozložena suchou cestou (Mader et al., 1989) a analyzována po jednotlivých nádobách. Analytická přesnost a spolehlivost měření byla zajištěna použitím certifikovaných referenčních materiálů (RM 12-02-03 Lucerne, RM 12-02-05 Rye Bread Flour).

Obsah Cd v půdách ve výluhu 2M HNO₃ byl stanoven takto: 10,0 g vzorku zeminy bylo naváženo do plastické lahvičky, zalito 100 ml 2M HNO₃, lahvičky byly uzavřeny a ponechány stát po dobu 16 h. Po uplynutí této doby byl vzorek mechanicky protřepáván po dobu 6 h a poté zfiltrován přes jemný filtr (Kozák et al., 1990).

K extrakci 0,01M CaCl₂ bylo naváženo 10 g zeminy do 250ml polyetylenové lahvičky a zalito 100 ml 0,01M CaCl₂. Reakční směs byla protřepávána po dobu 2 h, poté byl roztok centrifugován po dobu 10 min při 3000 otáčkách (Novozamský et al., 1993). Stejný postup byl dodržen také u 0,1M CaCl₂ (Werner, 1994).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Čistírenské kaly byly aplikovány v čerstvém stavu tak, aby nebyla snížena jejich agronomická účinnost. Z hlediska obsahu Cd byly použity čistírenské kaly průměrné kvality. U kalu Praha činil obsah 5,57 mg Cd/kg sušiny a u kalu Písek 3,22 mg Cd/kg. Ve sdělení ÚKZÚZ (Anonym, 1997) se uvádí, že u 198 vzorků kalů ČOV činil průměrný obsah 3,9 mg Cd/kg. Podle stanovených hodnot by námi testované kaly bylo možné použít jako kompost II, případně jako suroviny pro výrobu kompostů. Také sledované zeminy nevykazovaly nadlimitní obsahy Cd. V ČR platí podle Vyhlášky č. 13/1994 Sb. pro lehké půdy maximální obsah 0,4 mg Cd/kg a pro ostatní 1,0 mg Cd/kg.

Po aplikaci kalů byl zaznamenán nárůst výnosu sušiny pěstovaných plodin, zejména ve druhém pokusném roce. Nejvyššího efektu bylo dosaženo na nejméně úrodné půdě Přerov n/L. Podrobnější informace uvádějí Balík et al. (1998).

Obsahy Cd v rostlinách udává tab. III. Příčinou zvýšené variability naměřených hodnot bylo použití kalů v čerstvém stavu jako relativně nehomogenního materiálu, co se týká množství Cd. Z těchto údajů vyplývá, že stanovené obsahy jsou ovlivněny především použitou zeminou. Souhrnné vyjádření za oba pokusné roky podávají obr. 1 a 2. U variant s čistírenskými kaly v roce jejich aplikace existuje určitá tendence ke zvýšení obsahu Cd v rostlinách, která je zřetelnější u kalu Praha, což také odpovídá vyššímu obsahu Cd v použitém kalu (1,7krát více oproti kalu Písek). Ve druhém pokusném roce (následné působení) byl obsah Cd v rostlinách u variant s kaly většinou nižší. Vysvětlení tohoto jevu lze zdůvodnit významným nárůstem biomasy rostlin. V důsledku působení tzv. zředovacího efektu dochází k snížení obsahu Cd v rostlinách. Podobně také Tlustoš et al. (1997) neuvádějí jednoznačné zvýšení obsahu Cd v rostlinách v nádobových pokusech se špenátem pěstovaným na devíti různých zeminách a při použití dávky 20 t sušiny kalu/ha. Také v jejich pokusech měla na obsah Cd rozhodující vliv testovaná zemina.

Změny v obsahu extrahovatelného Cd v zeminách byly sledovány vždy po sklizni rostlin. Extrakce 2M HNO₃ byla zvolena proto, že dává dobré korelace s celkovým obsahem Cd v půdě a také limitní obsahy rizikových prvků v půdách jsou podle Vyhlášky č. 13/1994 Sb. udávány v 2M HNO₃. Výluh v CaCl₂ charakterizuje mobilní obsah Cd v půdách, tedy nespecificky sorbované Cd. V SRN byl doporučován především výluh 0,1M CaCl₂ jako významné doplňující kritérium k určování tzv. tolerovatelných obsahů Cd v půdě (Werner, 1994). U 0,1M CaCl₂ je zdůrazňována skutečnost, že extrahované množství dobře reaguje na změny půdních podmínek a dále se vyznačuje poměrně těsným vztahem k obsahu Cd v půdním roztoku (Hornburg, 1991; Werner, 1994). Extrakce 0,01M CaCl₂ je preferována především holandskými pracovníky (Novozamský et al., 1993).

	Zemina ¹	Varianta ²	Ječmen ³ (zrno ⁴)	Ječmen (sláma ⁵)	Mák ⁶	Makovina ⁷	Kukuřice ⁸	Oves ⁹
1995	Suchdol	kontrola ¹⁰	0,019	0,244	0,280	0,117	0,046	0,173
		kal ¹¹ Praha	0,023	0,298	0,239	0,109	0,119	0,173
		kal Písek	0,035	0,134	0,201	0,133	0,049	0,159
	F		8,04**	0,504	14,99**	0,38	0,73	0,029
		d _{min}	0,012		0,040			
	Č. Újezd	kontrola	0,013	0,065	0,158	0,071	0,088	0,285
		kal Praha	0,010	0,316	0,128	0,040	0,088	0,187
		kal Písek	0,010	0,175	0,127	0,050	0,047	0,279
	F		0,611	2,494	0,87	3,2	1,22	0,640
		d _{min}						
	Přerov n/L	kontrola	0,011	0,169			0,216	0,202
		kal Praha	0,014	0,206			0,074	0,343
		kal Písek	0,016	0,122			0,087	0,300
	F		0,253	0,833			7,07*	0,705
		d _{min}					0,116	
1996	Suchdol	kontrola	0,007	0,124	0,610	0,212	0,099	0,063
		kal Praha	0,009	0,095	0,238	0,072	0,100	0,094
		kal Písek	0,015	0,095	0,320	0,072	0,071	0,132
	F		2,46	2,77	29,98**	41,93**	1,88	1,53
		d _{min}			0,141	0,049		
	Č. Újezd	kontrola	0,022	0,183	0,528	0,218	0,086	0,093
		kal Praha	0,011	0,099	0,338	0,067	0,036	0,057
		kal Písek	0,016	0,132	0,357	0,076	0,055	0,051
	F		6,17*	2,55	29,27**	15,30**	21,34**	2,98
		d _{min}	0,008		0,076	0,085	0,048	
	Přerov n/L	kontrola	0,017	0,146			0,157	0,117
		kal Praha	0,005	0,125			0,104	0,157
		kal Písek	0,009	0,114			0,111	0,159
	F		10,25**	1,18			8,48**	0,95
		d _{min}	0,008				0,388	

 * průkazné na hladině významnosti¹² $\alpha = 0,05$

 ** průkazné na hladině významnosti $\alpha = 0,01$
¹soil, ²variant, ³barley, ⁴grain, ⁵straw, ⁶poppy, ⁷poppy heads, ⁸corn, ⁹oats, ¹⁰control, ¹¹sludge, ¹²significant at a significance level

Obsahy Cd v půdě v těchto extrakčních činidlech jsou uvedeny v tab. IV a V. Celkem v osmi případech byly stanoveny u variant s kaly statisticky zvýšené hodnoty. Naproti tomu při šesti aplikacích kalů došlo ke snížení obsahu Cd. Tyto rozdílné výsledky vyplývají z nehomogenity Cd v kalech a z různých způsobů sorpcí Cd v jednotlivých půdách. Z výsledků pokusů s postupnými frakciovacími Cd, které uveřejnil Zeien (1995), vyplývá, že rozhodujícím činitelem z hlediska sorpcí Cd je především pH půdy, obsah uhličitánů, obsah oxidů manganu a železa a obsah organických látek v půdě. Souhrnné relativní změny v obsahu Cd v půdách v roce 1995 jsou uvedeny na obr. 3 až 5, z nichž je zřejmý dominantní vliv zeminy a není patrná žádná tendence ke zvýšení obsahu Cd u variant s kaly. Přestože bylo použito poměrně vysoké dávky kalu (10 t sušiny/ha), činilo dodané množství Cd v kalu pouze malý podíl vzhledem k celkovému obsahu Cd v půdě (Cd_{tot}). Dodané množství Cd v kalu Praha představovalo ve srovnání

s Cd_{tot} na zemině Suchdol 5 %, Č. Újezd 5,6 % a Přerov n/L 5,2 %. U kalu Písek byl tento poměr ještě nižší, na zemině Suchdol 2,9 %, Č. Újezd 3,2 % a Přerov n/L 3,0 %. Jestliže vezmeme za základ výluh 2M HNO₃ v roce 1995, činilo množství Cd v kalu Praha v závislosti na zemině 7 až 12,9 % a v kalu Písek 4 až 7,4 %. Velmi vysoký podíl tvoří dodané Cd ve srovnání s půdním výluhem 0,1M CaCl₂. V závislosti na zemině a kalu představuje 15 až 109 %. Přesto se však významněji neprojevil vliv kalů na zvýšení obsahu Cd v rostlinách. Významným omezujícím faktorem zvýšené mobility Cd ve sledovaných půdách byla zřejmě vysoká hodnota pH (neutrální až alkalické pH). Přesto pro hlubší studium transformací Cd z čistírenských kalů v půdě vyplývá požadavek na bližší specifikaci vazeb Cd v kalech a dále na podrobnější speciaci Cd v testovaných půdách.

Průměrné relativní obsahy Cd v jednotlivých extraktantech ve srovnání s celkovým obsahem v půdě jsou znázorněny na obr. 6 a 7. Přestože se použité zeminy

IV. Obsah Cd v půdních výluzech v roce 1995 (mg/kg sušiny) – Cd content in soil extracts in 1995 (mg/kg dry matter)

Zemina ¹	Varianta ²	Jarní ječmen ³			Mák ⁴			Kukuřice ⁵			Oves ⁶		
		2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂	2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂	2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂	2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂
Suchdol	kontrola ⁷	0,343	0,020	0,0025	0,231	0,018	0,002	0,223	0,017	0,002	0,306	0,012	0,003
	kal ⁸ Praha	0,310	0,022	0,0011	0,236	0,018	0,002	0,216	0,014	0,002	0,306	0,016	0,003
	kal Písek	0,265	0,022	0,0006	0,243	0,017	0,002	0,243	0,011	0,001	0,256	0,014	0,003
<i>F</i>		6,08*	0,10	5,31*	0,09	0,31	0,12	2,94	1,68	3,9	5,33*	1,71	0,39
<i>d</i> _{min}		0,062		0,002							0,049		
Č. Újezd	kontrola	0,190	0,018	0,0007	0,143	0,019	0,004	0,156	0,017	0,002	0,153	0,018	0,003
	kal Praha	0,193	0,020	0,0020	0,486	0,041	0,005	0,163	0,018	0,002	0,183	0,032	0,002
	kal Písek	0,238	0,024	0,0030	0,176	0,021	0,003	0,153	0,023	0,002	0,171	0,029	0,004
<i>F</i>		1,65	2,94	1,65	4,99*	29,84**	2,33	0,28	2,08	1,42	2,49	6,45*	1,65
<i>d</i> _{min}					0,334	0,009						0,012	
Přerov n/L	kontrola	0,173	0,057	0,0114				0,128	0,077	0,014	0,128	0,077	0,022
	kal Praha	0,145	0,061	0,0107				0,148	0,080	0,013	0,156	0,094	0,064
	kal Písek	0,164	0,047	0,0152				0,128	0,069	0,015	0,141	0,083	0,018
<i>F</i>		2,94	0,56	4,53*				1,78	2,29	0,36	1,61	3,09	1,11
<i>d</i> _{min}				0,0024									

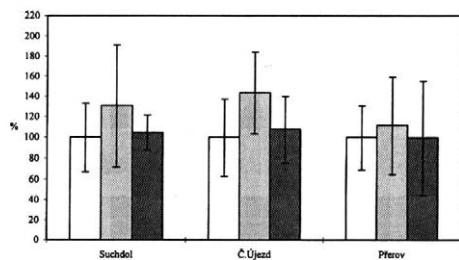
* průkazné na hladině významnosti⁹ $\alpha = 0,05$ ** průkazné na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ ¹soil, ²variant, ³spring barley, ⁴poppy, ⁵corn, ⁶oats, ⁷control, ⁸sludge, ⁹significant at a significance level

V. Obsah Cd v půdních výluzech v roce 1996 (mg/kg sušiny) – Cd content in soil extracts in 1996 (mg/kg dry matter)

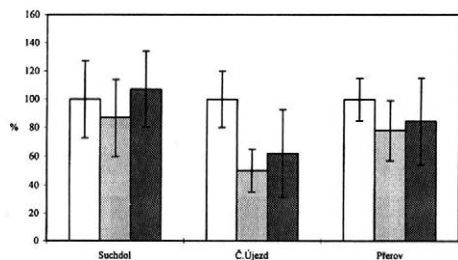
Zemina ¹	Varianta ²	Jarní ječmen ³			Mák ⁴			Kukuřice ⁵			Oves ⁶		
		2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂	2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂	2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂	2M HNO ₃	0,1M CaCl ₂	0,01M CaCl ₂
Suchdol	kontrola ⁷	0,285	0,0125	0,0023	0,373	0,0098	0,0047	0,255	0,015	0,003	0,290	0,014	0,0058
	kal ⁸ Praha	0,280	0,0140	0,0020	0,350	0,0110	0,0055	0,283	0,016	0,003	0,305	0,017	0,0022
	kal Písek	0,338	0,0231	0,0034	0,320	0,0105	0,0041	0,265	0,012	0,003	0,288	0,014	0,0016
<i>F</i>		2,17	46,43**	8,24**	3,43	0,22	1,76	2,27	1,35	0,33	1,01	0,56	1,17
<i>d</i> _{min}			0,0033	0,0010									
Č. Újezd	kontrola	0,358	0,0358	0,0051	0,210	0,0185	0,0038	0,143	0,025	0,002	0,198	0,027	0,0010
	kal Praha	0,168	0,0224	0,0031	0,245	0,0193	0,0034	0,285	0,031	0,004	0,175	0,026	0,0009
	kal Písek	0,250	0,0202	0,0026	0,230	0,0150	0,0044	0,225	0,020	0,004	0,165	0,026	0,0005
<i>F</i>		2,68	19,42**	13,39**	2,06	0,93	2,53	24,65**	11,03**	2,19	0,53	0,03	0,67
<i>d</i> _{min}			0,0076	0,0014				0,057	0,006				
Přerov n/L	kontrola	0,153	0,0669	0,0131				0,153	0,065	0,017	0,098	0,057	0,0189
	kal Praha	0,208	0,0800	0,0171				0,120	0,063	0,018	0,125	0,053	0,0148
	kal Písek	0,193	0,0758	0,0171				0,135	0,078	0,016	0,123	0,066	0,0170
<i>F</i>		4,03	0,57	5,67*				0,97	4,88*	0,31	6,66*	0,44	2,47
<i>d</i> _{min}				0,0038					0,015		0,023		

* průkazné na hladině významnosti⁹ $\alpha = 0,05$ ** průkazné na hladině významnosti $\alpha = 0,01$

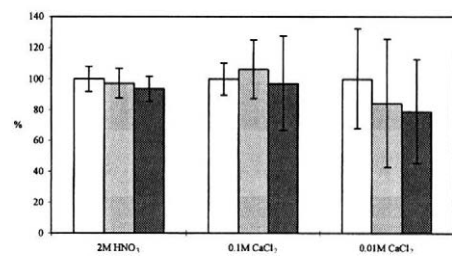
For 1–9 see Tab. V



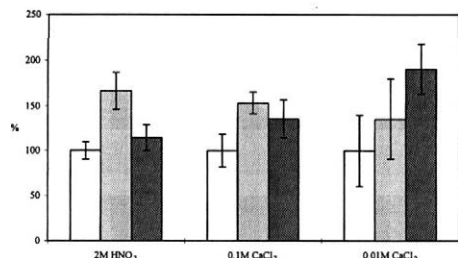
1. Relativní obsah Cd v rostlinách v roce 1995 (přímý vliv) – Relative Cd content in plants in 1995 (direct effect)



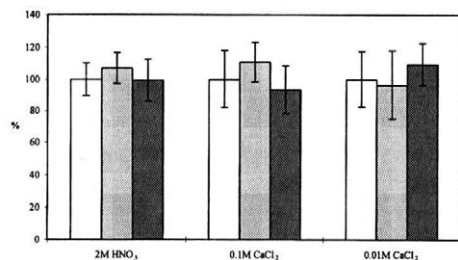
2. Relativní obsah Cd v rostlinách v roce 1996 (následné působení) – Relative Cd content in plants in 1996 (subsequent effect)



3. Relativní obsah Cd v zemině Suchdol (průměr všech plodin v roce 1995) – Relative Cd content in Suchdol soil (average for all crops in 1995)



4. Relativní obsah Cd v zemině Č. Újezd (průměr všech plodin v roce 1995) – Relative Cd content in Č. Újezd soil (average for all crops in 1995)



5. Relativní obsah Cd v zemině Přerov n/L (průměr všech plodin v roce 1995) – Relative Cd content in Přerov n/L soil (average for all crops in 1995)

I = směrodatná odchylka – standard deviation

□ kontrola = 100 % – control = 100%

▒ kal Praha – Praha sludge

■ kal Písek – Písek sludge

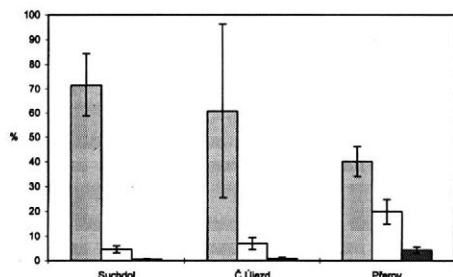
v celkovém obsahu Cd výrazněji nelišily, zaznamenali jsme zřetelnější rozdíly v jeho extrahovatelnosti. Dále je zřejmé, že se výrazněji neliší pokusné roky 1995 a 1996. Použitím 2M HNO₃ se uvolní značný podíl Cd, včetně frakcí těžko mobilizovatelných. Průměrný podíl Cd v 2M HNO₃ činil 60,2 % z Cd_{tot} v půdách. Tato hodnota je v dobrém souladu s výsledky z literatury (Tlustoš et al., 1994) uvádějícími pro soubor 24 půd hodnotu 64,1 %. Námi stanovené hodnoty jsou ale podstatně nižší,

než publikovali Podlešáková et al. (1994) (90 až 94 %).

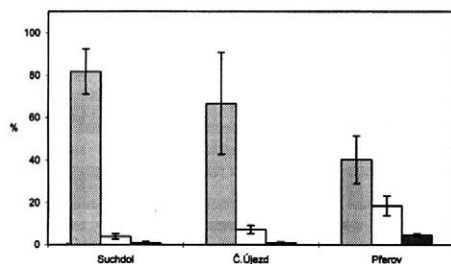
Při použití 0,1M CaCl₂ bylo uvolněno podstatně menší množství Cd. V závislosti na roce to bylo u zeminy Suchdol 3,9 až 4,6 %, Č. Újezd 7 až 7,3 % a Přerov n/L 18,6 až 19,9 % z Cd_{tot} půdy. Na vysokém zastoupení mobilního Cd na zemině Přerov n/L se zřejmě podílela nižší hodnota pH a dále také charakter jednotlivých sorbentů. Obdobné výsledky pro 0,1M CaCl₂ uvádí v německých půdách Zeien (1995). U nejslabšího činidla (0,01M CaCl₂) bylo na zeminách Suchdol a Č. Újezd uvolněno méně než 1 % z Cd_{tot}, což udávají také Tlustoš et al. (1994).

Zemina Přerov n/L se výrazněji odlišuje od ostatních. Relativně velmi malý podíl Cd (cca 40 %) je extrahován HNO₃, ale zároveň je zde vysoký podíl výměnně sorbovaného (mobilního) Cd. U této zeminy je poměrně malý podíl potenciálně mobilizovatelného Cd (sorbovaného na oxidy manganu, resp. na organickou hmotu). Lze předpokládat, že významná část je zde pevně imobilizována především v silikátech a v krystalických oxidech železa.

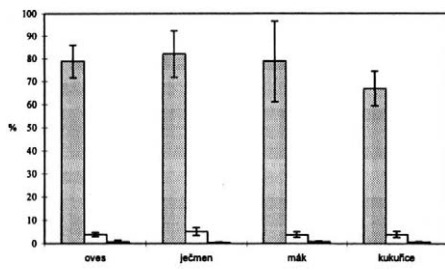
Vliv pěstovaných plodin na množství extrahovaného Cd je znázorněn na obr. 8 až 10, kde jsou prezentovány vždy průměrné hodnoty za oba pokusné roky. Ve srovnání se rtutí (Balík et al., 1998) je zde menší vliv jednotlivých plodin. V průměru všech sledovaných zemí nebyl u výluhů CaCl₂ zaznamenán rozdíl mezi ovsem, ječmenem a kukuřicí. Je zajímavé, že jsme stano-



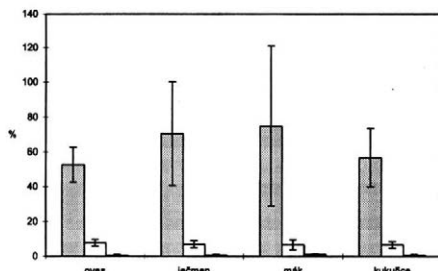
6. Podíl extrahovatelného Cd z jeho celkového obsahu (Cd_{tot}) v zemině (průměr všech plodin v roce 1995) – The proportion of extractable Cd in its total content (Cd_{tot}) in soil (average for all crops in 1995)



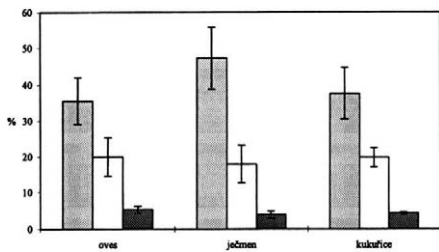
7. Podíl extrahovatelného Cd z jeho celkového obsahu (Cd_{tot}) v zemině (průměr všech plodin v roce 1996) – The proportion of extractable Cd in its total content (Cd_{tot}) in soil (average for all crops in 1996)



8. Podíl extrahovatelného Cd z jeho celkového obsahu (Cd_{tot}) v zemině Suchdol v závislosti na plodině (průměr 1995/1996) – The proportion of extractable Cd in its total content (Cd_{tot}) in Suchdol soil in relation to forecrop (1995/1996 average)



9. Podíl extrahovatelného Cd z jeho celkového obsahu (Cd_{tot}) v zemině Č. Újezd v závislosti na plodině (průměr 1995/1996) – The proportion of extractable Cd in its total content (Cd_{tot}) in Č. Újezd soil in relation to forecrop (1995/1996 average)



10. Podíl extrahovatelného Cd z jeho celkového obsahu (Cd_{tot}) v zemině Píčov n/L v závislosti na plodině (průměr 1995/1996) – The proportion of extractable Cd in its total content (Cd_{tot}) in Píčov n/L soil in relation to forecrop (1995/1996 average)

■ 2M HNO₃ □ 0.1M CaCl₂ ■ 0.01M CaCl₂
 $Cd_{tot} = 100\%$
 oves – oats mák – poppy
 ječmen – barley kukuřice – corn

čili větší množství Cd extrahovaného 2M HNO₃ u ječmene (průměr 66,6 %) než u ovesa (průměr 55,7 %) a kukuřice (průměr 53,7 %). Tato skutečnost je zvýraz-

něna tím, že zvýšený obsah Cd u ječmene byl nalezen na všech zeminách v obou letech.

Vztah mezi obsahem Cd v půdách a v rostlinách je vyjádřen pomocí lineární regresní analýzy (tab. VI). Jsou uvedeny výsledky u ovesa a kukuřice, neboť u těchto plodin byly provedeny analýzy v celkové biomase. Z hodnot korelačního koeficientu vyplývá, že nejvhodnější činidlo je 0,1M CaCl₂. Statisticky významná závislost však byla stanovena pouze v roce 1996 u kukuřice. Poměrně nízké hodnoty korelačního koeficientu jsou způsobeny relativně malou různorodostí sledovaných zemín, přičemž je dosahováno obecně menší těsnosti mezi sledovanými prvky v půdě a v rostlinách. Obdobně jako v našich sledováních se špenátem (Balič et al., 1996) se jako nevhodné ukázalo použití 2M HNO₃ k charakteristice přijatelnosti Cd rostlinami. Nízké obsahy Cd ve výluhu 0,01M CaCl₂ zdůrazňují požadavky na precizní analytiku a zároveň také větší závislost naměřených hodnot na konkrétních půdních podmínkách v době odběru vzorku.

Přestože nebylo stanoveno průkazné zvýšení obsahu Cd v rostlinách po aplikaci kalů, je třeba věnovat této problematice zvýšenou pozornost, zejména s ohledem na značnou mobilitu Cd v půdě a také na možnost jeho zvý-

VI. Hodnoty korelačního koeficientu lineární regrese mezi obsahem Cd v rostlinách a v půdě – The values of correlation coefficient of linear regression between Cd content in plants and in soil

Rok ¹	Vyluhovadlo ²	Oves ³			Kukuřice ⁴		
		a	b	r	a	b	r
1995	2M HNO ₃	0,3685	-0,6770	-0,3428	0,1843	-0,5430	-0,2974
	0,1M CaCl ₂	0,1857	1,4716	0,2676	0,0592	0,8600	0,3089
	0,01M CaCl ₂	0,2344	-0,0840	-0,0191	0,0725	3,1021	0,2362
1996	2M HNO ₃	0,1216	-0,0978	-0,1399	0,1425	-0,2488	-0,4645
	0,1M CaCl ₂	0,0680	1,0339	0,3974	0,0621	0,8033	0,5312
	0,01M CaCl ₂	0,0814	3,0194	0,4162	0,0646	3,3729	0,6151

$$y = a + bx$$

y = obsah prvku v rostlině – element content in plant

x = obsah prvku v půdním vyluhu – element content in soil extract

¹year, ²extractant, ³oats, ⁴corn

šené akumulace v půdách při pravidelném užívání čistírenských kalů. V našich pokusech bylo kalem Praha dodáno 8,1krát a kalem Písek 4,7krát více Cd než činil průměrný roční odběr rostlinami (11,5 µg Cd na nádobu).

Tato publikace vznikla na základě finálních prostředků GA ČR – projektu 526/97/0845.

LITERATURA

- ANONYM: Ročenka 1995/96. Brno, ÚKZÚZ 1997. 60 s.
- BALÍK, J. – PAVLÍKOVÁ, D. – SZÁKOVÁ, J. – TLUSTOŠ, P.: Obsah Cd, Zn, Hg v rostlinách špenátu po aplikaci čistírenských kalů. In: Sbor. Racionální použití průmyslových hnojiv, 2. část, Praha, ČZU 1996: 71–81.
- BALÍK, J. – TLUSTOŠ, P. – SZÁKOVÁ, J. – BLAHNÍK, R.: Vliv aplikace čistírenských kalů na akumulaci rtuti v rostlinách. Rostl. Výr., 44, 1998: 267–274.
- EDER, G.: Klärschlammgaben und Müllkompostgaben auf Dauergrünland in ihren Auswirkungen auf den Boden, die Pflanzen und das Sickerwasser. VDLUFA Schr.-R. 44, Kongr.-Bd, 1996: 413–415.
- HORNBURG, V.: Untersuchungen zur Mobilität und Verfügbarkeit von Cadmium, Zink, Mangan, Blei und Kupfer in Böden. Bonner Bodenkundl. Abhandlung. Bd 2. 1991. 288 s.
- KOZÁK, J. et al.: Retence těžkých kovů v půdě. [Zpráva.] Praha, ČZU 1990.
- MADER, P. – KUČERA, J. – CIBULKA, J. – MIHOLOVÁ, D.: Ověření způsobu mineralizace jater pro stanovení kadmia a olova diferenční pulsní anodickou rozpouštěcí voltametrií mezilaboratorním experimentem. Chem. Listy, 83, 1989: 765–773.

NOVOZAMSKÝ, J. – LEXMOND, T. M. – HOUBA, V. J. G.: A single extraction procedure of soil for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. Int. J. Envir. Anal. Chem., 51, 1993: 47–58.

PODLEŠÁKOVÁ, E. – NĚMEČEK, J. – VÁCHA, R.: Kontaminace půd severočeského regionu rizikovými prvky. Rostl. Výr., 40, 1994: 123–130.

POLETSCHNY, H.: Verwertung von Abwasserklärslamm im Landbau. MuA Lfg., 1996 (2): 1–38.

SAUERBECK, D. et al.: Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. Forsch.-Zent. Jülich GmbH 1991. 415 s.

TLUSTOŠ, P. – BALÍK, J. – SZÁKOVÁ, J. – PAVLÍKOVÁ, D. – VANĚK, V.: Uplatnění čistírenských kalů v zemědělství s ohledem na akumulaci rizikových prvků v půdě a kvalitě produkce. Praha, ČZU 1997. 16 s.

TLUSTOŠ, P. – DIJK, D. VAN – SZÁKOVÁ, J. – PAVLÍKOVÁ, D.: Uvolňování Cd a Zn vybranými vyluhovadly. Rostl. Výr., 40, 1994: 1107–1121.

WERNER, W.: Biotransfer von Schwermetallen in Abhängigkeit von Standort und kulturspezifischen Faktoren. Ber. Landwirtschaft., 208, 1994 (6): 138–151.

WERNER, W. – BIRKE, C.: Langzeituntersuchungen des Verhaltens von Schadstoffen im Boden. [Projekt 107 010-11/03.] Jahresber. UBA 1988.

ZEIEN, H.: Chemische Extraktion zur Bestimmung der Bindungsformen von Schwermetallen in Böden. [Doktorská dizertace.] Univ. Bonn, Inst. Bodenkde 1995. 284 s.

Došlo 21. 5. 1998

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Jiří Balík, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 27 32, fax: 02/20 92 03 12

VLIV ČISTÍRENSKÝCH KALŮ NA OBSAH ZINKU V PŮDĚ A ROSTLINÁCH

THE EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ON ZINC CONTENT IN SOIL AND PLANTS

J. Balík, P. Tlustoš, D. Pavlíková, J. Száková, R. Blahník, S. Kaewrahn

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The effect of sewage sludge on zinc (Zn) content in plants and soil was examined in vegetation pot trials. Experiments were conducted in three different soils (Chernozem, Orthic Luvisol, Fluvisol) and on four crops (poppy, barley, corn, oats). Two types of sludge with average Zn contents were used. Direct and subsequent effects of sewage sludge were studied. A trend of elevated Zn content in plants was observed after sludge applications. The highest values of transferfactor were determined in corn, oats and poppy seed. Average Zn uptake by crops amounted to 30 to 43% of Zn dose in sludge. Zn utilization from sludges was calculated by a balance method, and the values were within the interval of 4 to 13%. Zn content in soil was studied using different extractants (2M HNO₃, 0.1M CaCl₂, 0.01M CaCl₂). Average proportion of Zn in 2M HNO₃ was 41% out of Zn_{tot} in soils. An amount of 0.9 to 3.9% out of the total Zn content in soils was released by 0.1M CaCl₂ in relation to the soil type. The use of 0.01M CaCl₂ resulted in extraction of 0.07 to 1.15% out of Zn_{tot}. The highest values of transferfactor were determined in soil with the highest content of mobile Zn.

sewage sludge; zinc; Zn content in plants; soil extractants

ABSTRAKT: V nádobových vegetačních pokusech byl sledován vliv čistírenských kalů na obsah zinku (Zn) v rostlinách a v půdě. Pokusy proběhly na třech různých zemínách (černozem, hnědozem, fluvizem) a se čtyřmi různými plodinami (mák, ječmen, kukuřice, oves). Byly použity dva různé kaly o průměrném obsahu Zn. Bylo ověřováno přímé i následné působení čistírenských kalů. U variant s kaly byla zjištěna tendence ke zvýšenému obsahu Zn v rostlinách. Nejvyšší hodnoty transferfaktoru byly stanoveny u kukuřice, ovesa a semene máku. Průměrný odběr Zn sklizněmi rostlin činil 30 až 43 % z dávky Zn v kalu. Využití Zn z kalů bylo vypočteno pomocí bilanční metody a byly stanoveny hodnoty v intervalu 4 až 13 %. Při použití různých extrakčních činidel (2M HNO₃, 0,1M CaCl₂, 0,01M CaCl₂) byl dále sledován obsah Zn v půdě. Průměrný podíl Zn v 2M HNO₃ činil 41 % ze Zn_{tot} v půdách. Při použití 0,1M CaCl₂ bylo uvolněno v závislosti na zemině 0,9 až 3,9 % ze Zn_{tot} v půdách. U 0,01M CaCl₂ bylo extrahováno 0,07 až 1,15 % ze Zn_{tot}. Na zemině s nejvyšším podílem mobilního Zn byly stanoveny také nejvyšší hodnoty transferfaktoru.

čistírenské kaly; zinek; obsah Zn v rostlinách; půdní extraktanty

ÚVOD

Zinek (Zn) patří k nenahraditelným prvkům při živé rostlin, zvířat i lidí. Při velmi vysokých obsazích Zn v půdě však působí toxicky na rostliny i půdní mikroorganismy. Nejsou však známy případy toxického působení Zn u lidí, a to ani při extrémně vysokých dávkách. V nezatížených půdách činí obsah celkového Zn 10 až 80 mg/kg. V oblastech s antropogenně zatíženými půdami mohou dosáhnout hodnoty až 5000 mg/kg (Scheffer, Schachtschabel, 1992). Sorpční vlastnosti Zn jsou nejčastěji porovnávány s Cd. Na půdách nezatížených rizikovými prvky a současně dobře provzdušněných se liší oba prvky především pevností vazby na humusové látky a jílkaté částice a dále citlivostí k půdní reakci (Blum, 1994). U Cd je pevnost vazby na jílkatou frakci charakterizována jako slabá a u Zn jako střední. Sorpci Zn na humusové látky definuje Blum

(1994) termínem slabá a sorpci Cd termínem silná. Mobilita Zn se začíná snižovat již při pH ≥ 4,5, ale u Cd až při pH ≥ 6. Fytotoxické působení Zn nastává převážně při obsazích Zn v rostlinách ≥ 200 mg/kg sušiny (Rauno et al., 1988; Sauerbeck, 1989; Birke, Werner, 1991). Pro významnější depresivní působení Zn na mikroorganismy je udávána koncentrace půdního roztoku cca 1 mg Zn/l. Proto by maximální obsah Zn neměl překročit u půd s neutrální a slabě kyselou půdní reakcí 300 mg/kg a u půd s pH 5 až 6 150 mg/kg (Scheffer, Schachtschabel, 1992). V rostlinné výrobě jsou významným zdrojem Zn organická hnojiva, komposty a v současnosti to mohou být i čistírenské kaly.

Cílem práce bylo určit vliv aplikace čistírenských kalů na obsah Zn v rostlinách a dále sledovat změny v obsazích Zn v půdě při použití různých extrakčních činidel.

MATERIÁL A METODA

Čistírenské kaly byly testovány v nádobových pokusech v letech 1995 a 1996 (tab. I). Byly použity tři zeminy z lokalit Suchdol (černozem), Č. Újezd (hnědozem) a Přerov n/L (fluvizem) (tab. II). Navážka suché zeminy činila 5 kg na nádobu. Za kontrolní variantu bylo považováno hnojení NPK. Kal byl dodán v čerstvém stavu a v množství odpovídajícím v přepočtu 16,65 g sušiny na nádobu. Kal byl aplikován pouze v roce 1995, v roce 1996 bylo sledováno jeho následné působení. Nádobky byly zavlažovány deionizovanou vodou. Vlhkost zeminy byla udržována na 60 % MVK. Kukuřice byla sklizena při výšce porostu cca 100 cm, oves v mléčně-voskové zralosti, mák a ječmen v plné

zralosti. Každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních. Po sklizni nadzemní hmoty byla zemina z jednotlivých variant vysušena, uskladněna a použita v roce 1996 pro následnou plodinu. V roce 1996 bylo u všech variant hnojení NPK. Podrobnější popis metodiky uvádějí Balík et al. (1998). Rostlinná hmota byla po homogenizaci rozložena suchou cestou (Mader et al., 1989). Ke stanovení Zn bylo použito atomové absorpční spektrometrie (přístroj Varian Spectra-AA-40). Analytická přesnost a spolehlivost měření byla zajištěna použitím certifikovaných referenčních materiálů (RM 12-02-03 Lucerne, RM 12-02-05 Rye Bread Flour). Obsah Zn v zemínách byl stanoven v třech extrakčních činidlech: 2M HNO₃, 0,1M CaCl₂ a 0,01M CaCl₂.

I. Obsah Zn v čistírenských kalech – Zinc content in sewage sludge

Prvek ¹	Praha	Písek	Referenční materiál ² BCR-144	
	mg/kg		mg/kg	
			certifikováno ³	nalezeno ⁴
Zn	1 834 ± 73	1 529 ± 25	3 143 ± 103	3 143

¹element, ²reference material, ³certified, ⁴determined

II. Agrochemická charakteristika půd – Agrochemical characteristics of soils

Zemina ¹	C _{ox} (%)	pH/KCl	KVK (mval/kg)	Zn (mg/kg)
Č. Újezd	1,54	7,04	145	87,5 ± 5,7
Suchdol	2,29	7,23	180	98,1 ± 6,6
Přerov n/L	0,96	6,61	75	43 ± 1,3

Referenční materiál²: RM Silty Clay Loam (Analytika Co., Ltd.)

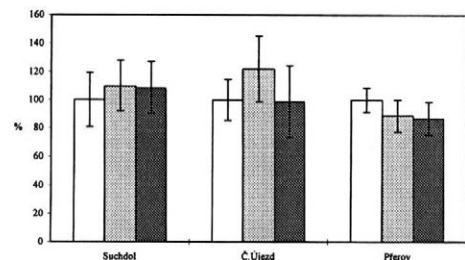
Certifikováno³: 81,0 ± 7,6 mg Zn/kg

Nalezeno⁴: 80,8 ± 3,4 mg Zn/kg

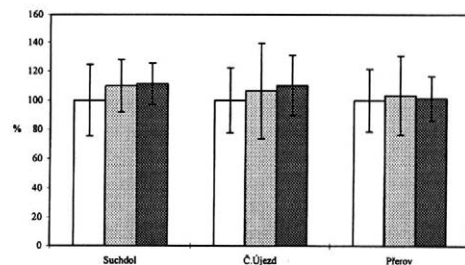
¹sludge, for 2–4 see Tab. I

VÝSLEDKY A DISKUSE

Co se týká obsahu Zn, odpovídaly použité čistírenské kaly průměrné kvalitě. V rozsáhlém souboru ze SRN (5700 vzorků) činil průměrný obsah 1446 mg Zn/kg sušiny kalu (Timmerman, 1994). Ve sdělení ÚKZÚZ (Anonym, 1997) se uvádí, že průměrný obsah kalů ČOV v rámci ČR byl 1704 mg Zn/kg sušiny kalu. S ohledem na velmi přísnou ČSN 46 5735 by však



2. Relativní obsah Zn v rostlinách v roce 1996 (následné působení) – Relative Zn content in plants in 1996 (subsequent effect)



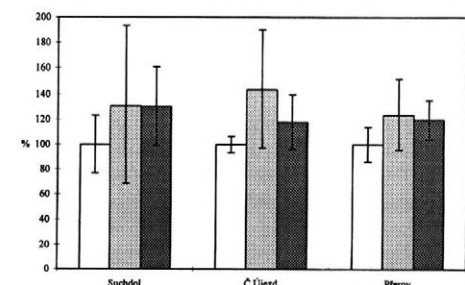
1. Relativní obsah Zn v rostlinách v roce 1995 (přímý vliv) – Relative Zn content in plants in 1995 (direct effect)

I = směrodatná odchylka – standard deviation

□ kontrola = 100 % – control = 100%

■ kal Praha – Praha sludge

■ kal Písek – Písek sludge



3. Relativní odběr Zn rostlinami (průměr 1995/1996) – Relative Zn uptake by plants (1995/1996 average)

nebylo možné aplikovat tyto kaly přímo na zemědělskou půdu, ale pouze je využít jako suroviny pro výrobu kompostů. Obsahy Zn u sledovaných zemín splňovaly podmínky Vyhlášky č. 13/1994 Sb. Podle této normy je maximální obsah Zn u lehkých půd 130 mg/kg a u ostatních půd 200 mg/kg.

Relativní obsahy Zn v rostlinách jsou uvedeny na obr. 1 a 2. U variant s kaly je zřejmá tendence ke zvýšenému obsahu Zn v rostlinách. Obdobné výsledky uvádějí také Tlustoš et al. (1997), kteří stanovili v souboru devíti zemín po aplikaci kalů největší nárůst obsahu Zn v rostlinách špenátu ze všech osmi sledovaných rizikových prvků. V naší práci představuje výjimku pouze zemina Přerov n/L ve druhém pokusném roce. Příčinou této odlišnosti je výrazný nárůst biomasy rost-

lin, přičemž v důsledku zředovacího efektu zde došlo ke snížení obsahu Zn v rostlinách. Vlastní statistické hodnocení pro jednotlivé plodiny a zeminy je uvedeno v tab. III. Je zřejmé, že námi stanovené obsahy Zn v rostlinách se neliší od publikovaných hodnot (Bergmann, 1993).

Zvýšený obsah Zn v rostlinách při současně vyšším nárůstu biomasy rostlin je také příčinou výrazně vyššího odběru Zn biomasou rostlin. Souhrnné odběrové výsledky za dva pokusné roky jsou znázorněny na obr. 3. V závislosti na kalu a zemině zde představoval nárůst 18 až 44 %, přičemž u kalu Praha byl zvýšen odběr o 32,7 % a u kalu Písek o 22,5 %, což je ve velmi dobrém vztahu s celkovým obsahem Zn v těchto používaných kalech. Jak je patrné z obr. 4, představuje odebrané

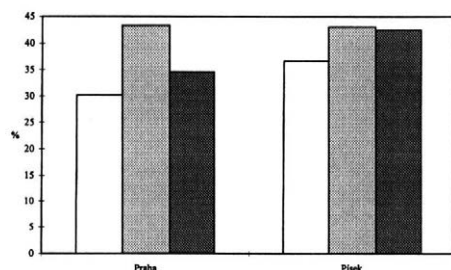
III. Obsah Zn v rostlinách v roce 1995 a 1996 (mg/kg sušiny) – Zn content in plants in 1995 and 1996 (mg/kg dry matter)

	Zemina ¹	Varianta ²	Ječmen ³ (zrno ⁴)	Ječmen (sláma ⁵)	Mák ⁶	Makovina ⁷	Kukuřice ⁸	Oves ⁹
1995	Suchdol	kontrola ¹⁰	28,20	17,45	66,01	14,92	87,13	107,09
		kal ¹¹ Praha	29,32	21,58	71,37	15,46	115,01	93,10
		kal Písek	35,87	19,24	77,11	16,36	111,83	80,03
	<i>F</i>		1,114	2,371	5,55*	0,139	0,599	0,838
	<i>d</i> _{min}				9,29			
	Č. Újezd	kontrola	24,98	14,40	65,78	15,70	56,48	76,29
		kal Praha	25,29	12,39	60,18	14,64	96,87	73,42
		kal Písek	28,30	16,90	62,32	13,21	83,54	79,31
	<i>F</i>		0,394	3,480	0,539	0,185	0,534	0,028
	<i>d</i> _{min}							
	Přerov n/L	kontrola	24,41	21,82			75,70	77,22
		kal Praha	31,50	21,19			71,80	71,93
		kal Písek	26,81	22,07			69,34	79,56
	<i>F</i>		2,023	0,031			0,044	0,950
	<i>d</i> _{min}							
1996	Suchdol	kontrola	24,37	14,52	67,04	9,86	59,54	43,51
		kal Praha	26,00	13,38	77,13	13,98	55,31	48,05
		kal Písek	24,72	13,19	82,89	10,42	56,44	58,63
	<i>F</i>		0,372	0,678	5,146*	1,02	0,044	0,972
	<i>d</i> _{min}				13,970			
	Č. Újezd	kontrola	34,97	24,74	73,67	10,02	39,57	44,95
		kal Praha	31,98	17,53	80,99	11,01	67,32	80,57
		kal Písek	32,55	14,84	81,33	10,14	46,08	50,20
	<i>F</i>		4,986*	3,604	1,47	0,06	1,232	2,623
	<i>d</i> _{min}		2,811					
	Přerov n/L	kontrola	31,93	23,80			66,54	82,26
		kal Praha	29,08	22,05			54,89	72,41
		kal Písek	31,14	20,31			52,13	69,92
	<i>F</i>		1,487	1,28			3,577	1,94
	<i>d</i> _{min}							

* průkazné na hladině významnosti¹² $\alpha = 0,05$

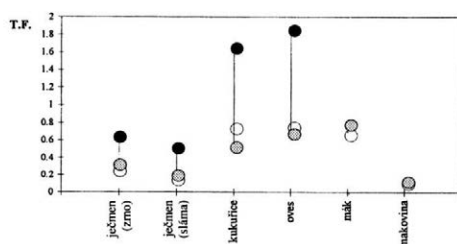
** průkazné na hladině významnosti $\alpha = 0,01$

¹soil, ²variant, ³barley, ⁴grain, ⁵straw, ⁶poppy, ⁷poppy heads, ⁸corn, ⁹oats, ¹⁰control, ¹¹sludge, ¹²significant at a significance level



4. Podíl každoročně odebraného Zn rostlinami (průměr plodin za období 1995/1996) z množství Zn dodaného kaly – The proportion of annual Zn uptake by plants (crop average over 1995/1996) in Zn amount supplied by sludge

□ Suchdol
 ▨ Č. Újezd
 ■ Přerov



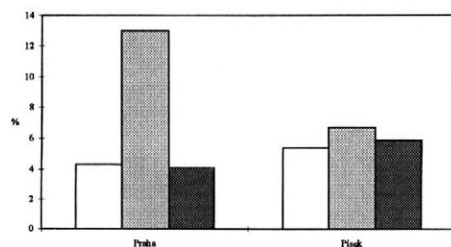
6. Vliv plodiny na velikost transferfaktoru Zn – The effect of crop on transferfactor of Zn

ječmen (zrno) – barley grain
 ječmen (sláma) – barley straw
 kukurice – corn
 oves – oats
 mák – poppy
 makovina – poppy heads

○ Suchdol
 ◐ Č. Újezd
 ● Přerov

množství Zn sklizněmi rostlin poměrně značný podíl z množství dodaného v kalech. Na rozdíl od Cd, u kterého činil odběr u kalu Praha pouze 12 % a u kalu Písek 21 %, představovalo u Zn průměrné odebrané množství sklizněmi 30 až 43 % z dávky Zn v kalu. Přitom relativně největší odběr ve vztahu k dodanému množství byl na zemině Č. Újezd (průměr 43 %) a nejmenší na zemině Suchdol (průměr 33 %). Vzhledem k celkově menšímu množství dodaného Zn v kalu Písek byl také u tohoto kalu zaznamenán větší podíl při odběru.

Procentuální využití Zn z kalů rostlinami je doloženo na obr. 5 s použitím bilanční metody. Je zřejmé, že stanovené hodnoty jsou v intervalu 4 až 13 %. Nejvyšší využití bylo u plodin pěstovaných na zemině Č. Újezd. Lze konstatovat, že s ohledem na typ hnojiva (kal) a charakter živiny (mikroelement) jde o poměrně vysoké využití.

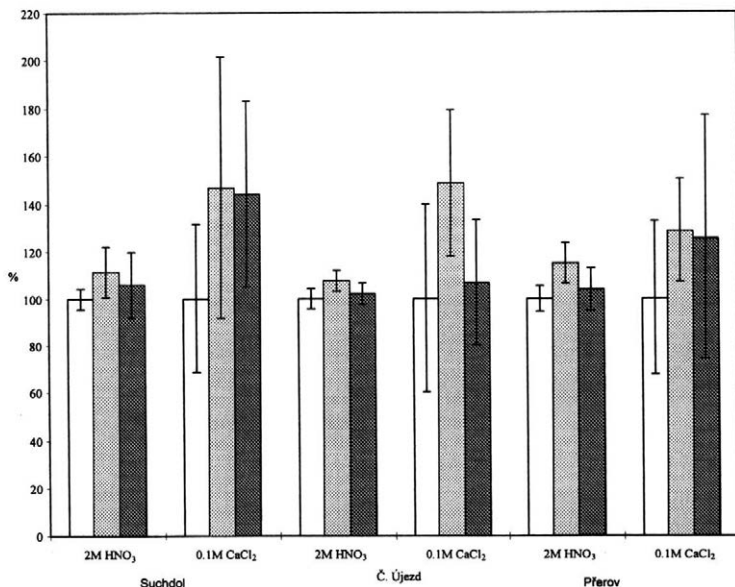


5. Průměrné roční využití Zn rostlinami (%) dodaného kaly (bilanční metoda) – Average annual plant utilization of Zn (%) supplied by sludge (balance method)

Vhodným kritériem pro posouzení biotransferu těžkých kovů je tzv. transferfaktor (Němček et al., 1994). Na obr. 6 jsou prezentovány průměrné hodnoty u jednotlivých plodin. K výpočtu byly použity kontrolní varianty. Vypočtené hodnoty transferfaktoru (0,2 až 1,9) potvrzují předpoklad o dobré přijatelnosti Zn rostlinami, přičemž získané údaje odpovídají závěrům z literatury (Lübben, Sauerbeck, 1991). V souladu s předpokladem byly nejvyšší hodnoty stanoveny u zeminy Přerov n/L, která má také nejvyšší obsah celkového Zn (cca 43 až 49 % oproti ostatním zeminám). Z testovaných plodin byl zjištěn nejvyšší transferfaktor u kukurice, ovesa a semene máku. Je zajímavé, že kukurice má vysoký transferfaktor Zn a zároveň je pro ni charakteristická zvýšená citlivost k jeho nedostatku. Na rozdíl od Cd byly však u Zn vypočteny nízké hodnoty u slámy ječmene a u makoviny. Je zřejmé, že Zn je ve srovnání s Cd podstatně více transportován do generativních orgánů.

V souboru těchto pokusů byly dále stanoveny obsahy Zn v zeminách po sklizni jednotlivých plodin. Jako extrakční činidlo byly použity 2M HNO₃, 0,1M CaCl₂ a 0,01M CaCl₂. Souhrnné výsledky s 2M HNO₃ a s 0,1M CaCl₂ jsou znázorněny na obr. 7. U varianty s kaly byl zjištěn zvýšený obsah Zn v zeminách, přičemž v souladu s obsahem Zn v jednotlivých kalech jsou tyto změny vyšší u kalu Praha. Z uvedených výsledků je dále patrné, že u slabšího extrakčního činidla je větší rozptýl dosažených výsledků. Potvrzuje se zde pravidlo o větší závislosti stanovených hodnot na konkrétních půdních podmínkách a pěstované plodině při použití slabých extraktantů. Zároveň však CaCl₂ lépe reagoval na zvýšený obsah přijatelného Zn u variant s kaly. Nepřímým důkazem jsou výsledky uvedené na obr. 3.

Pro vyjádření vztahu mezi obsahem Zn v zeminách a jeho obsahem v rostlinách byla použita lineární regresní analýza. U všech tří sledovaných extrakčních činidel však byly získány statisticky nevýznamné hodnoty. Nebyly potvrzeny předpoklady o vhodnosti slabého roztoku CaCl₂ ke stanovení obsahu přijatelného Zn v půdě (Scheffer, Schachtschabel, 1992). Vysvětlení pro nízké hodnoty korelačního koeficientu v našich pokusech lze nalézt v relativně malé různorodosti



7. Relativní obsah Zn v zemínách (průměr všech plodin v roce 1995) – Relative Zn content in soils (average of all crops in 1995)

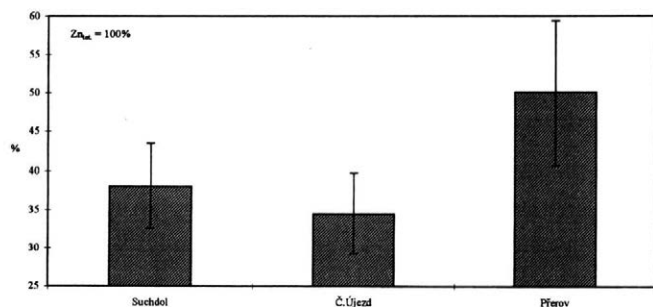
□ kontrola = 100 % – control = 100 %
 ▨ kal Praha – Praha sludge
 ■ kal Písek – Písek sludge

dosti použitých zemín a dále v existenci zředovacího efektu v důsledku nárůstu biomasy rostlin.

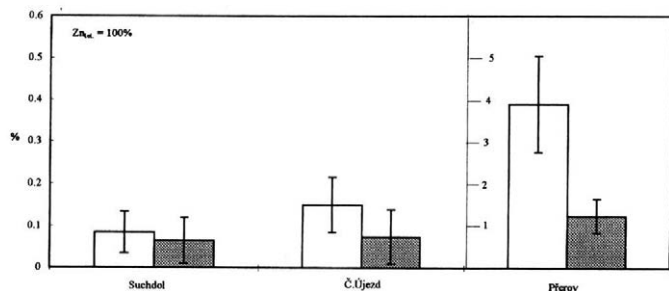
Na obr. 8 a 9 jsou znázorněny podíly extrahovatelného Zn z jeho celkového množství v zemině při použití různých činidel. Je zřejmé, že nejsnáze mobilizovatelný je Zn u zeminy Přerov n/L. Při použití HNO₃ bylo uvolněno v průměru 41 % Zn, což se významněji neliší od výsledků, jež uveřejnili Tlustoš et al. (1994), kteří u souboru 27 zemín stanovili 32% podíl. Na zemině Přerov n/L bylo extrahováno 50 % a zemině Č. Újezd pouze 35 % ze Zn_{tot}. Množství Zn uvolněné CaCl₂ bylo u zemín Suchdol a Č. Újezd v rozmezí 0,07 až 0,15 % ze Zn_{tot}. V souladu s výsledky získanými při sledování Cd byl také u Zn největší podíl lehce mobilního Zn na zemině Přerov n/L, kde byly stanoveny hodnoty 3,90 a 1,15 %. Dále se u této zeminy nejzřetelněji projevil rozdíl v koncentraci použitého CaCl₂. Relativně vyšší podíl mobilního Zn na zemině Přerov n/L je pravděpodobně důsledek nízkého obsahu jílnaté frakce. Vliv pH na rozdílnost v mobilitě Zn na jednotlivých použí-

vaných zemínách je zřejmě nižší, neboť pH 6,6 u zeminy Přerov n/L by mělo být dostatečné k tomu, aby se významněji snížila mobilita Zn. Uvedené výsledky pro všechny testované zeminy odpovídají předpokladu, že u půd s pH ≥ 6 je nízký podíl výměnně sorbovaného Zn (Scheffer, Schachtschabel, 1992). Z obr. 6, 8, 9 také vyplývá poměrně dobrá shoda mezi mobilitou Zn v jednotlivých zemínách a hodnotami transferfaktorů.

Ze srovnání výsledků získaných s půdními výluhy u Cd a Zn je zřejmé podstatně snazší extrahovatelnost Cd. Menší podíl mobilního a potenciálně mobilizovatelného Zn z jeho celkového obsahu v půdě je také předpokladem většího uplatnění Zn z hnojiva (tj. kalu). U kalu Praha bylo dodáno v závislosti na zemině 16 až 28 % z celkového množství Zn (2M HNO₃) a u kalu Písek 14 až 24 %. Ve srovnání s extrakcí CaCl₂ bylo kalem dodáno cca 10- až 100krát více Zn, než byl obsah této frakce v půdě. Zřejmě také proto se zde projevil Zn dodaný v kalech výraznějším zvýšením jeho obsahu v rostlinách, než tomu bylo v případě Cd.



8. Podíl extrahovatelného Zn z jeho celkového obsahu (Zn_{tot}) v zemině (průměr všech plodin; výluh 2M HNO₃) – The proportion of extractable Zn in its total content (Zn_{tot}) in soil (average of all crops; 2M HNO₃ extract)



9. Podíl extrahovatelného Zn z jeho celkového obsahu (Zn_{ex}) v zemině (průměr všech plodin; výluh 0,1M $CaCl_2$ a 0,01M $CaCl_2$) – The proportion of extractable Zn in its total content (Zn_{ex}) in soil (average of all crops; 0.1M $CaCl_2$ and 0.01M $CaCl_2$ extracts)

□ 0,1M $CaCl_2$
 ■ 0,01M $CaCl_2$

Tato publikace vznikla na základě finálních pro- středků GA ČR – projektu 526/97/0845.

LITERATURA

- ANONYM: Ročenka 1995/96. Brno, ÚKZÚZ 1997. 60 s.
 BALÍK, J. – TLUSTOŠ, P. – SZÁKOVÁ, J. – BLAHNÍK, R.: Vliv aplikace čistírenských kalů na akumulaci rtuti v rostlinách. Rostl. Výr., 44, 1998: 267–274.
 BERGMANN, W.: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Jena, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag 1993. 831 s.
 BIRKE, C. – WERNER, W.: Eignung chemischer Extraktionsverfahren zur Prognose der Schwermetallgehalte in Pflanzen. In: Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. Forsch.-Zent. Jülich GmbH 1991: 127–179.
 BLUME, H.-P.: Bindung, Abbau und Mobilität von organischen und anorganischen Schadstoffen in Böden. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Münster-Hiltrup, Landwirtschaft.-Verlag 1994: 128–137.
 LÜBBEN, S. – SAUERBECK, D.: Transferfaktoren und Transferkoeffizienten für den Schwermetallübergang Boden-Pflanze. In: Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. Forsch.-Zent. Jülich GmbH 1991: 181–223.
 MADER, P. – KUČERA, J. – CIBULKA, J. – MIHOLOVÁ, D.: Ověření způsobu mineralizace jater pro stanovení kadmia

a olova diferenční pulsní anodickou rozpouštěcí voltametrií mezilaboratorním experimentem. Chem. Listy, 83, 1989: 765–773.

- NĚMEČEK, J. – PODLEŠÁKOVÁ, E. – PASTUSZKOVÁ, M.: Kontaminace krmiv a potravinářských surovin v imisně zatíženém severočeském regionu. Rostl. Výr., 40, 1994: 555–565.
 RAUNO, A. – POSCHENRIEDER, C. – BARCEL, J.: Growth and biomass partitioning in zinc toxic bush beans. J. Pl. Nutr., 11, 1988: 577–588.
 SAUERBECK, D.: Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. In: BEHRENS, D. – WIESNER, J.: Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden. Frankfurt/M, DE-CHEMA 1989: 281–316.
 SCHEFFER, F. – SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart, Enke 1992. 491 s.
 TIMMERMANN, F.: Schwermetalle. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Münster-Hiltrup, Landwirtschaft.-Verlag 1994: 92–103.
 TLUSTOŠ, P. – BALÍK, J. – SZÁKOVÁ, J. – PAVLÍKOVÁ, D. – VANĚK, V.: Uplatnění čistírenských kalů v zemědělství s ohledem na akumulaci rizikových prvků v půdě a kvalitě produkce. Praha, ČZU 1997. 16 s.
 TLUSTOŠ, P. – DIJK, D. VAN. – SZÁKOVÁ, J. – PAVLÍKOVÁ, D.: Uvolňování Cd a Zn vybranými vyuhodlady. Rostl. Výr., 40, 1994: 1107–1121.

Došlo 21. 5. 1998

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Jiří Balík, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchdol, Česká republika, tel.: 02/24 38 27 32, fax: 02/20 92 03 12

PŘÍJEM A DISTRIBUCE ARZENU A KADMIA ROSTLINAMI

THE ACCUMULATION OF ARSENIC AND CADMIUM IN PLANTS AND THEIR DISTRIBUTION

P. Tlustoš, D. Pavlíková, J. Balík, J. Száková, A. Hanč, M. Balíková

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: Five plant species were planted in a three-year pot experiment on three different soils differing in soil properties and total content of As and Cd. Sandy Fluvisols (Přerov nad Labem) contained 4.4 mg As and 0.36 mg Cd, loamy Greyzems (Kbely) 16.7 mg As and 17.56 mg Cd, and sandy loam Luvisols (Lahošť) 49.5 mg As and 0.6 mg Cd per kg of soil. Biomass of oat, leaves and roots of spinach, radish, carrot and plants, pods and seeds of green beans were analysed for total content of As and Cd and total mean uptake of each crop. Transferfactor (Tf) of individual parts of plant was calculated for both elements. Results of experiments showed the yield was affected by soil fertility not by different As and Cd soil contents. Wide range of Cd content in soil affected significantly Cd concentration in all plant species. The highest difference was found in the species with highest Cd concentration (leaves and roots of spinach and leaves of radish) and the lowest in pods and seeds of beans. The mean accumulation of Cd was higher in leaves than in roots. The highest concentration of Cd was determined in leaves and roots of spinach and in leaves of radish at greyzems Kbely. The lowest Cd concentration in the same soil was found in green beans. Plant contained 0.849 mg, pod 0.174 mg and seed 0.093 mg Cd.kg⁻¹. The Cd concentration in plants decreased in the order greyzems > fluvisols > luvisols. Cd uptake was affected by plant concentration and the yield of dry matter. The highest Cd uptake was by spinach plants, lower and similar by radish, carrot and oat and the lowest by green beans. As was accumulated in the order luvisols > fluvisols > greyzems. The highest concentration was found in roots of spinach 5.0 mg As.kg⁻¹ on luvisols and 4.61 mg As.kg⁻¹ on fluvisols. Lower As concentration was found in roots of radish 1.67 mg As.kg⁻¹ and in roots of carrot 0.79 mg As.kg⁻¹ on luvisols. The highest As accumulation in aboveground biomass was found in plants of bean (3.02 mg As.kg⁻¹), the concentration in other plants was in close margins from 0.97 in spinach leaves to 1.59 mg As.kg⁻¹ in radish leaves grown on luvisols. The highest As uptake was observed by oat on all three soils due to high biomass yield. There was not a significant difference in As uptake between the other four species. Leaves were the dominant part in Cd uptake, but As was taken more by roots.

arsenic; cadmium; oat; spinach; radish; carrot; bean; concentration; distribution; uptake; transferfactor

ABSTRAKT: V tříletém nádobovém vegetačním pokusu bylo na třech zeminách s odlišnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi a rozdílným celkovým obsahem As (4,4 Přerov nad Labem; 16,7 Kbely a 49,5 Lahošť v mg As.kg⁻¹) a Cd (0,36 Přerov nad Labem; 0,6 Lahošť a 17,56 Kbely v mg Cd.kg⁻¹) pěstováno pět druhů rostlin, s cílem zjistit a porovnat jejich akumulaci schopnost a průměrný odběr obou prvků vybranými rostlinami. Ke sledování byly vybrány oves (sklizený v mléčně-voskové zralosti), ředkvička (bulva a listy), mrkev (kořen a nať), špenát (listy a kořen) a fazol (rostlina, lusk a semeno). Získané výsledky prokázaly, že ani vysoké rozdíly v celkovém obsahu obou sledovaných prvků v půdě neměly vliv na růst a výnos pěstovaných rostlin. Rozdílný obsah Cd v půdě ovlivnil statisticky významně jeho koncentraci v rostlinách. V průměru byla zjištěna vyšší koncentrace Cd v nadzemních částech než v kořenech. Nejvyšší obsahy Cd byly stanoveny v listech a kořenech špenátu a listech ředkvičky na zemině Kbely (26,45 až 29,06 mg Cd.kg⁻¹). Nejnižší koncentrace Cd byly stanoveny ve fazolu, kde rostlina obsahovala na této kontaminované zemině 0,849 mg Cd.kg⁻¹ a semeno pouze 0,093 mg Cd.kg⁻¹. Celkově nejvíce Cd odebral špenát, podobný, ale nižší odběr byl zjištěn ředkvičkou, mrkví i ovsem a nejmenší fazolem. As se v rostlinách hromadilo nejvíce na zemině Lahošť, méně na zemině Přerov a nejslaběji byl rostlinami osvojován As ze zeminy Kbely. Nejvíce As se v průměru kumulovalo v kořenech špenátu, tří- až pětikrát více než v listech. Rostliny fazolu prokázaly nejvyšší akumulaci schopnost As v nadzemní hmotě sledovaných rostlin. Odběr As ovsem byl nejvyšší na všech půdách. Mezi ostatními čtyřmi pěstovanými plodinami nebyl zjištěn významný rozdíl v odběru As.

arzen; kadmium; oves; špenát; ředkvička; mrkev; fazol; koncentrace; distribuce; odběr; transferfaktor

ÚVOD

Řada souhrnných prací (Adriano, 1986; Kabata-Pendias, Pendias, 1986; Alloway, 1990)

ukázala, že příjem rizikových prvků rostlinami je závislý na druhu pěstované plodiny a jejich distribuce je různá v jednotlivých částech rostlin. Množství přijatého prvku je pak v těsnějším či méně těsném vztahu s cel-

kovým obsahem sledovaného prvku v půdě. Příjem daného prvku je také ve vztahu s individuální pevností vazby v půdě a s fyzikálně-chemickými vlastnostmi jednotlivých půd. Mezi prvky, u kterých je možno očekávat zvýšené riziko akumulace v rostlinách, patří v našich podmínkách As a Cd. Nadpřeměrné překročení limitů kontaminace obou uvedených prvků mezi dvacíti sledovanými zjistili v půdách severočeského regionu Podlešáková et al. (1994b) i v nížních řeky Labe Podlešáková et al. (1994a). Oba prvky se významně liší ve svých vlastnostech. Zatímco Cd se svým chováním podobá ostatním kationtům (Adriano, 1986), As se v provzdušněné půdě vyskytuje především ve formě arzeničanů, pouze za redukčních podmínek existují i další oxidační stupně, As (III), popřípadě sulfidy v půdě stabilní (Sadiq et al., 1983). Jeho vazby v půdě jsou podobné s vazbami P a jsou tvořeny především sloučeninami s Fe, Al a Ca. Určité množství As může být vázáno také v organických sloučeninách (Nriagu, 1994). Odlišné způsoby vazeb obou prvků v půdě následně ovlivňují jejich příjem rostlinami. Cd má poměrně široké spektrum fytotoxicity, výrazně závisící na rostlině. Adriano (1986) shrnul výsledky několika autorů a zjistil, že k významné výnosové redukci docházelo u špenátu již po přidávce 4 mg Cd.kg⁻¹ do půdy, u ředkvičky po 96 mg Cd.kg⁻¹ a u zelí až po 170 mg Cd.kg⁻¹. Sheppard (1992) zaznamenal poměrně malé rozdíly mezi pozadíovými a fytotoxickými obsahy As v půdě, bez významného rozdílu v chování jedno- a dvouděložných rostlin. Zatímco obsah As se v sušině biomasy pohybuje v rozmezí několika setin až desetin mg As.kg⁻¹, u Cd dosahují koncentrace běžně i několika mg, především v listech některých zelenin (Kabata-Pendias, Pendias, 1986).

Cílem našeho příspěvku bylo sledovat vliv tří zemín s výrazně rozdílným celkovým obsahem obou uvedených prvků a s odlišnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi na růst, koncentraci a distribuci As a Cd v pěti plodinách.

MATERIÁL A METODA

Ke zjištění kumulace As a Cd v rostlinách byl založen tříletý nádobový pokus na třech zemínách. Použité zeminy z lokalit Přerov nad Labem, Kbely a Lahošť se významně lišily svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi a celkovým obsahem obou rizikových prvků. Přehled jejich základních charakteristik je shrnut v tab. I a celkové i přístupné obsahy obou sledovaných prvků v jednotlivých půdách jsou uvedeny v tab. II a III. Na všech zemínách bylo pěstováno pět plodin: oves (odrůda Pan), ředkvička (odrůda Duo), špenát (odrůda Estivato), mrkev (odrůda Nantéská) a keříčkový fazol (odrůda Ida). Do 5 kg na vzduchu oschlé zeminy byly přidány N, P, K živiny v dávce 0,75 g N na nádobu pro ředkvičku, špenát a mrkev, 0,5 g N pro fazol a 1,5 g N pro oves. Dávky P a K byly konstantní pro všechny plodiny a činily 0,44 g P a 1,1 g K na nádobu. Živiny byly dodány ve formě čistých solí NH₄NO₃ a K₂HPO₄. Po

I. Základní charakteristika použitých zemín – Basic characteristics of used soils

Sledované parametry ¹	Zemina ²		
	Přerov	Kbely	Lahošť
Půdní typ ³	fluvisem ⁴	šedozem ⁵	hnědozem ⁶
Půdní druh ⁷	pisčítá ⁸	hlinitá ⁹	pisčitohlinitá ¹⁰
KVK (mval.kg ⁻¹)*	90	174	240
C _{ox} (%)	0,8	1,6	2,0
pH _{KCl}	6,6	7,3	6,8
P (mg.kg ⁻¹)**	312	101	195
K (mg.kg ⁻¹)**	251	268	504
Mg (mg.kg ⁻¹)**	99	205	269

* KVK byla stanovena ve vylúhu octanu amonného – CEC was determined in ammonium acetate extract

** obsah prvků byl stanoven ve vylúhu Mehlich II – Contents of elements were determined in Mehlich II extract

¹investigated parameters, ²soil, ³soil type, ⁴fluvisol, ⁵greyzem, ⁶luvisol, ⁷soil texture, ⁸sandy, ⁹loam, ¹⁰sandy loam

II. Celkový obsah a vyluhovatelný podíl Cd v použitých zemínách (mg.kg⁻¹) – Total and extractable content of Cd in used soils (mg.kg⁻¹)

Zemina ¹	Celkový obsah ² Cd	2M HNO ₃	0,01M CaCl ₂	H ₂ O
Přerov	0,36 ± 0,05	0,13 ± 0,02	0,010 ± 0,002	0,0013 ± 0,0001
Kbely	17,56 ± 0,64	16,34 ± 0,34	0,169 ± 0,007	0,0211 ± 0,0019
Lahošť	0,60 ± 0,01	0,63 ± 0,04	0,003 ± 0,001	0,0012 ± 0,0001

¹soil, ²total content

III. Celkový obsah a vyluhovatelný podíl As v použitých zemínách (mg.kg⁻¹) – Total and extractable content of As in used soils (mg.kg⁻¹)

Zemina ¹	Celkový obsah ² As	2M HNO ₃	0,01M CaCl ₂	H ₂ O
Přerov	4,4 ± 1,0	1,83 ± 0,35	0,036 ± 0,007	0,046 ± 0,002
Kbely	16,7 ± 4,6	3,15 ± 0,29	0,042 ± 0,002	0,043 ± 0,005
Lahošť	49,5 ± 13,2	38,04 ± 3,32	0,226 ± 0,030	0,321 ± 0,021

For 1, 2 see Tab. II

homogenizaci s hnojivou byla zemina vyspána do plastových nádob a oseta jednotlivými plodinami. Vlhkost půdy byla během vegetace udržována na 60 % MVK. Po sklizni byla zemina na vzduchu usušena a použita k pokusům v druhém a třetím roce. Dávky živin, pěstované plodiny i jejich odrůdy byly shodné po celou dobu experimentu. Každá pokusná varianta byla založena ve třech opakováních.

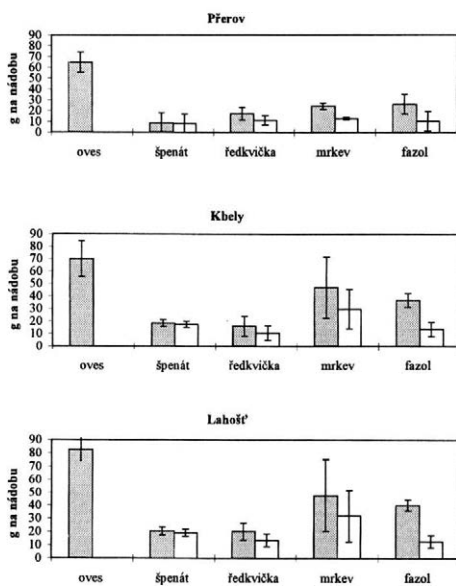
Usušený a zhomogenizovaný materiál byl rozložen na suché cestě ve směsi oxidačních plynů v přístroji APION (Miholová et al., 1993) a analyzován na obsah Cd metodou plamenové a bezplamenové atomové absorpční spektrometrie (AAS) a na obsah As stejnou metodou doplněnou o generaci hydridů. K analýzám byl použit přístroj VARIAN SpectraAA-40 s kontinuálním generátorem hydridů VGA 76 ve Stopped laboratorii katedry chemie AF ČZU v Praze. Pro kontrolu analytických dat byl použit certifikovaný referenční materiál RM 12-02-03 Lucerne, který obsahuje $0,136 \pm 0,003$ mg Cd.kg⁻¹ a $0,263 \pm 0,007$ mg As.kg⁻¹. Analýzami tohoto referenčního materiálu bylo v průměru zjištěno $0,122 \pm 0,033$ mg Cd.kg⁻¹ a $0,262 \pm 0,064$ mg As.kg⁻¹. Celkový obsah As a Cd v půdě i uvolnitelné množství těchto prvků jednotlivými vyluhovadly bylo stanoveno ve třech opakováních v průměrných vzorcích jednotlivých zemín před založením pokusu metodami, které popsali Tlustoš et al. (1994). Výnosové údaje a výsledky chemických analýz byly statisticky vyhodnoceny v programu STATGRAPHIC v. 4.0.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Průměrné tříleté výsledky ukázaly, že výnosová distribuce čerstvé hmoty se lišila od výnosu sušiny biomasy především v důsledku širokého spektra pěstovaných plodin, a tím i významně odlišného procenta sušiny, nejen mezi jednotlivými plodinami, ale i v rámci jedné plodiny. Např. obsah sušiny v bulvách ředkvičky nedosahoval ani 5 %, ale v listech byl v průměru téměř dvojnásobný. Z tohoto důvodu byl zjištěn nejvyšší celkový výnos čerstvé hmoty u mrkve, následovala ředkvička, oves, sklizený na počátku voskové zralosti s průměrným obsahem sušiny 30,5 %, špenát a fazol. Z obr. 1 je zřejmé, že nejvyšší hmotnost sušiny biomasy byla zjištěna u senážního ovsa a statisticky významně se lišila od hmotností dalších rostlin, s výjimkou celkové hmotnosti mrkve pěstované na půdách Kbely a Lahoš. Právě obsah celkové suché hmoty, popřípadě suché hmoty využitelného podílu rostliny je rozhodující pro transport rizikových prvků. Z obr. 1 dále vyplývá, že průměrný výnos byl ovlivněn použitou zemínou. Na zemině Přerov, s dobrou zásobou živin, ale velice nízkou sorpční schopností, byl zjištěn nejvyšší výnos u všech pěstovaných plodin. Nejvyšších výnosů bylo ve většině případů dosaženo na těžké, ale strukturní zemině Lahoš a jen o málo nižších na zemině Kbely. V našem pokusu se nepotvrdily souhrnné informace (Adriano, 1986), že již 2,4 mg.kg⁻¹ extrahovatelné

ho Cd DTPA vede k 25% výnosové depresi u špenátu. Podle publikovaných údajů (Tlustoš et al., 1994) zemina Kbely obsahuje v průměru trojnásobek uvedeného množství, ale přesto na ní nebyla pozorována výnosová deprese ani u špenátu, ani u ostatních pěstovaných plodin. Také v případě As se neprojevila výnosová deprese u žádné z pěstovaných plodin, i když zemina Lahoš obsahovala 49,5 mg As.kg⁻¹ a již při poloviční koncentraci As v půdě uvádí Sheppard (1992) významnou výnosovou depresi u ovsa, fazolí, ředkvičky i špenátu. Z uvedených zjištění vyplynulo, že celkový obsah Cd i As v půdě není rozhodující pro stanovení meze toxicity obou prvků, která však je značně závislá i na ostatních půdních vlastnostech.

Celkové průměrné koncentrace Cd v jednotlivých částech pěstovaných plodin jsou shrnuty na obr. 2. Rozdílný obsah Cd v půdě ovlivnil statisticky významně koncentraci Cd ve sledovaných částech rostlin. Ve všech rostlinách pěstovaných na půdě Kbely s extrémně vysokým obsahem Cd byla stanovena nejvyšší koncentrace Cd. Rozdíly v akumulaci Cd rostlinami na jednotlivých zeminách se lišily podle jejich osvojovací



1. Průměrný výnos sušiny celkové biomasy a konzumního podílu pěstovaných rostlin na jednotlivých zeminách (g na nádobu) – Mean yield of dry biomass and edible part of plants grown on three soils (g per pot)

na nádobu – per pot

oves – oat

špenát – spinach

ředkvička – radish

mrkev – carrot

fazol – bean

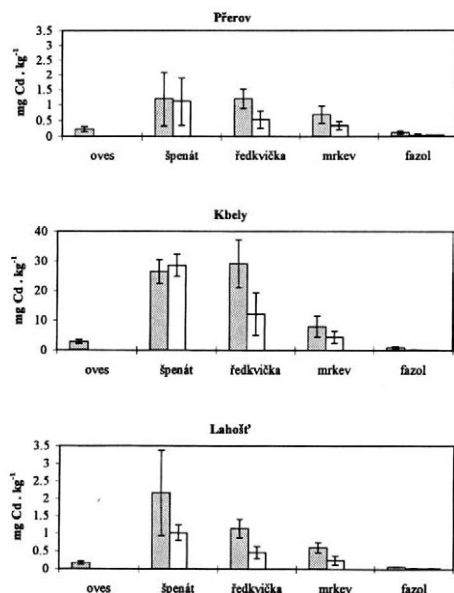
■ celková biomasa – total biomass

▨ konzumní biomasa – edible biomass

schopnosti. Padesátinásobný rozdíl mezi celkovými obsahy Cd v půdách Kbely a Přerov vedl k přibližně pětadvacetinásobnému rozdílu v koncentracích Cd v kořenech špenátu a bulvách ředkvičky. U ostatních plodin byl zjištěn pouze desetinásobný rozdíl. Nejmenší citlivý na změnu obsahu Cd v půdě byl fazol, který kumuloval v rostlinách na zemině Kbely pouze sedmkrát více Cd než na zemině Přerov, v případě luku byl rozdíl pětinašobný a v semenu pouze dvojnásobný. Rozdíl mezi celkovými obsahy Cd v zeminách Kbely a Lahošť byl přibližně poloviční oproti předcházející dvojici, ale rozdíly v kumulaci Cd plodinami pěstovanými na obou zeminách byly vyšší než v předcházejícím případě. I pro mobilní Cd platí, že celkový obsah je pouze orientační hodnotou jeho osvojitelnosti rostlinami a přesnější vzájemný vztah lépe vystihují slabá vyluhovací, popřípadě voda (tab. II).

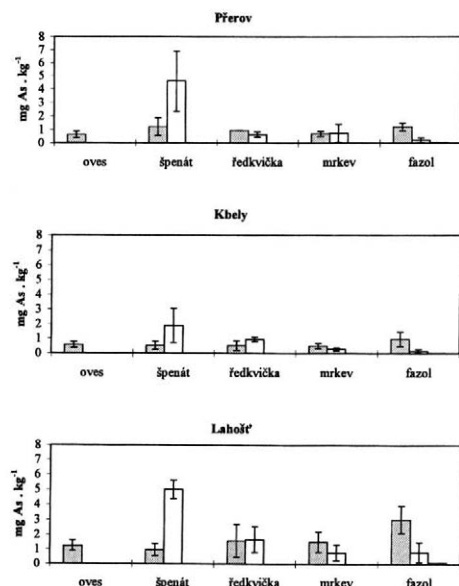
I přes více než řádově odlišné koncentrace Cd v rostlinách pěstovaných na jednotlivých půdách je z obr. 2 patrný shodný trend kumulace jednotlivými částmi rostlin. Pouze u špenátu byl statisticky nevýznamný rozdíl mezi hromaděním Cd v kořenech a listech na nekontaminovaných zeminách a půdách Kbely. Vyšší obsahy Cd v starších listech špenátu než v jeho kořenech

zjistili i McKenna et al. (1993) pro široké rozmezí koncentrací Cd v použitém živném roztoku, ale opačnou závislost stanovili mezi mladými listy a kořeny. Velký rozdíl v kumulaci Cd odlišně starými listy je pravděpodobně i důvodem vyšších směrodatných odchylek těchto hodnot. Podobné koncentrace Cd jako v obou částech špenátu byly nalezeny na všech půdách i v listech ředkvičky, ale v jejích bulvách byl obsah Cd přibližně poloviční. Obdobný, i když nepatrně užší poměr mezi koncentrací Cd v obou částech ředkvičky pěstované na písčitohlinité půdě zaznamenali i Keffer et al. (1986). Také Davies (1992) našel vyšší akumulaci Cd v listech ředkvičky než v bulvách na kontaminovaných půdách v Anglii a prokázal, že tento poměr se zvyšuje s rostoucím obsahem Cd v biomase. Mrkev akumulovala obdobně jako ředkvička více Cd v nadzemní části než v kořenech, ale celková koncentrace byla v obou částech Cd přibližně 50% z hodnot stanovených v ředkvičce. Shodné výsledky kumulace Cd v nati a kořenech mrkve i ve vztahu k ředkvičce publikovali Keffer et al. (1986). Velice citlivě reagoval na obsah přístupného Cd v půdě oves sklizený ve fázi voskové zralosti. Nejnižší průměrná koncentrace ($0,158 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$) v biomase byla stanovena na zemině Lahošť, vyšší ($0,217 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$) na zemině Přerov a nejvyšší ($2,758 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$) na zemině Kbely. Celkově nižší obsahy Cd v biomase ovesa oproti ostatním plodinám, zjištěné v našich pokusech, jsou v dobré korelaci s publikovanými výsledky (He, Singh, 1994).



2. Průměrná koncentrace Cd (mg.kg^{-1} sušiny) v jednotlivých částech pěstovaných rostlin – Mean Cd concentration (mg.kg^{-1} of dry matter) in different parts of grown plants

■ sloupec 1 – bar 1: oves – oat, špenát list – spinach leaf, ředkvička list – radish leaf, mrkev nať – carrot leaf, fazol rostlina – bean plant
□ sloupec 2 – bar 2: špenát kořen – spinach root, ředkvička bulva – radish root, mrkev kořen – carrot root, fazol lusk – bean pod
■ sloupec 3 – bar 3: fazol semeno – bean seed



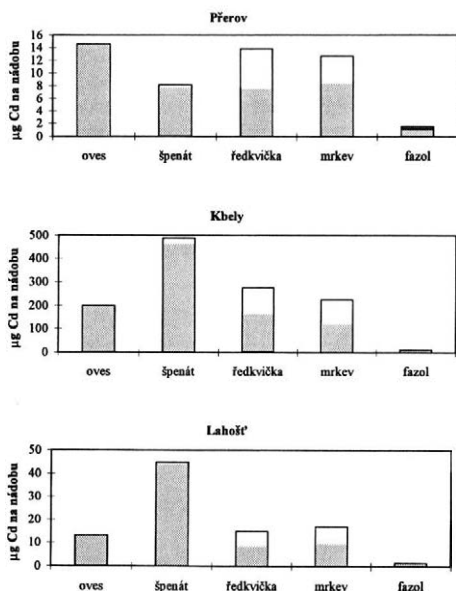
3. Průměrná koncentrace As (mg.kg^{-1} sušiny) v jednotlivých částech pěstovaných rostlin – Mean As concentration (mg.kg^{-1} of dry matter) in different parts of grown plants

Citovaní autoři na písčité a hlinité půdě zaznamenali pokles koncentrace Cd v řadě špenát > mrkev > jilek > oves. Nejnižší obsahy Cd ze všech pěstovaných plodin byly zjištěny v jednotlivých částech fazolu a klesaly v řadě rostlina > lusk > semeno. Jako rozhodující ve vztahu k akumulaci Cd v rostlině se opět ukázal přístupný obsah Cd v půdě. Obsah Cd v rostlině se pohyboval v intervalu 0,057 až 0,849 mg Cd.kg⁻¹, v luskách 0,023 až 0,174 mg Cd.kg⁻¹ a v semenu 0,022 až 0,093 mg Cd.kg⁻¹.

Celkové obsahy As v použitých půdách se nelišily tak významně jako u Cd, i když v tomto případě mezi zemínami Lahošť a Přerov byl rozdíl v obsahu As více než desetinásobný (tab. III). I takto vysoký rozdíl, potvrzený navíc obdobným zastoupením přístupného podílu, nebyl vždy dostatečný k statisticky významnému rozvrstvení kumulace As rostlinami na jednotlivých půdách. Ve většině případů se hromadilo nejvíce As v rostlinách pěstovaných na půdě Lahošť, následovala zemina Přerov a nejnižší kumulace As rostlinami byla zjištěna na zemině Kbely (obr. 3). Toto rozdělení neodpovídá nejen celkovému obsahu As v použitých půdách, ale ani přístupnému podílu stanovenému výluhem

CaCl₂ a H₂O. Pevnost vazby As je tedy na lehké půdě ovlivněna nejen objemem aktivních sorpčních povrchů, ale pravděpodobně více než na ostatních půdách i působením rostlinných exsudátů na sorbovaný prvek. Ze sledovaných rostlin byl nejvyšší obsah As stanoven ve všech třech půdách v kořenech špenátu a byl tři- až pětkrát vyšší než v listech. Obsah As v listech se lišil v jednotlivých pokusných letech, a proto jeho směrodatná odchylka je stejně jako v případě Cd vyšší než u ostatních sledovaných částí rostlin. V pořadí další rostlinou, která kumulovala nejvíce As, byl fazol. Obsahy As v něm stanovené byly v průměru nejvyšší ze všech sledovaných nadzemních částí jednotlivých rostlin (0,950 až 3,017 mg As.kg⁻¹). V luskách fazolu byla koncentrace významně nižší (0,145 až 0,815 mg As.kg⁻¹) a minimálně dosáhla v semenech fazolu (0,019 až 0,089 mg As.kg⁻¹). U ředkvičky a mrkve nebyl zjištěn významný rozdíl v kumulaci As nadzemní části, ale kořenová část se u obou plodin chovala odlišně. Na rozdíl od hodnot u špenátu i údajů z literatury (Kabát-Pendias, Pendias, 1986), u kterých byly obsahy As v kořenech vyšší než v nadzemní části, byl u mrkve průměrně vyšší obsah As v nadzemní části a u ředkvičky v bulvě, i když ani v jednom případě nešlo o rozdíly statisticky významné.

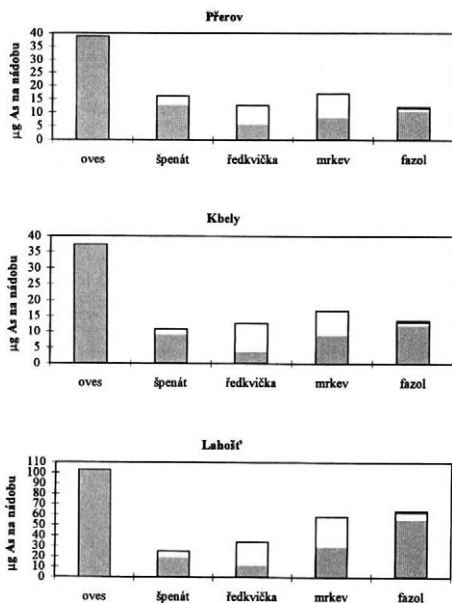
Odběr obou prvků celými rostlinami nebo jejich částmi je shrnut na obr. 4 a 5. Při jeho podrobnějším sledování u Cd vidíme, že závisel nejen na kumulaci Cd v biomase, ale i na celkové produkci sušiny. Z tohoto



4. Průměrný odběr Cd (µg na nádobu) pěstovanými rostlinami – Mean Cd uptake (µg per pot) by grown plants

na nádobu – per pot

■ oves – oat, špenát list – spinach leaf, ředkvička list – radish leaf, mrkev nať – carrot leaf, fazol rostlina – bean plant
 □ špenát kořen – spinach root, ředkvička bulva – radish root, mrkev kořen – carrot root, fazol lusk – bean pod
 ■ fazol semeno – bean seed



5. Průměrný odběr As (µg na nádobu) pěstovanými rostlinami – Mean As uptake (µg per pot) by grown plants

důvodu se mění trend odběru Cd celou skupinou plodin na jednotlivých půdách. Zatímco na půdách Kbely a Lahoš byl zjištěn nejvyšší odběr Cd špenátem, a to jeho nadzemní částí, na zemině Přerov se v důsledku poklesu výnosu propadl až za ostatní plodiny. Špenát, i přes nižší výnos suché hmoty, prokázal významnou osvojovací schopnost Cd. Průměrný odběr Cd touto rostlinou byl nejvyšší. U ovesa, ředkvičky a mrkve se jen minimálně lišil na jednotlivých půdách a byl jako v případě špenátu ovlivněn především testovanou zeminou. Zatímco o velikosti odběru rozhodovala v případě ředkvičky její akumulční schopnost listů, v případě ovesa šlo především o vysoký výnos biomasy. U mrkve byl podíl obou faktorů nejvýrovnanější. Velice nízká osvojovací schopnost fazolu ovlivnila rozhodující mírou celkově nejnižší odběr Cd touto rostlinou z celého souboru rostlin.

I v případě hodnocení odběru As námi pěstovanými plodinami je třeba si uvědomit, že jak hmotnost sušiny, tak i koncentrace As v ní rozhodují o jeho velikosti. Koncentrace As v jednotlivých hodnocených částech rostlin byly vyrovnanější než u Cd. Výjimku tvořily pouze kořeny špenátu, jejichž výnos byl však téměř zanedbatelný. Proto pak celkový odběr dobře koreluje s celkovým výnosem biomasy (obr. 5). Nejvyšší odběr byl pro všechny rostliny zjištěn na půdě s nejvyšším obsahem As. Vyšší výnosy biomasy na kbelské zemině vyrovnaly odběr As na obou půdách s výjimkou špenátu, jehož odběr byl na půdě Přerov vyšší. Biomasa ovesa odebrala nejvyšší množství As na všech zeminách. Bylo potvrzeno naše předchozí zjištění (Tlustý et al., 1997), že oves patří k plodinám odebírajícím nadprůměrné množství As. Mezi ostatními čtyřmi pěstovanými plodinami nebyl zjištěn významný rozdíl v odběru

As. V důsledku vysoké osvojovací schopnosti As fazolem byl jeho odběr na zemině Lahoš druhý nejvyšší a na dalších dvou srovnatelný s ředkvičkou a na zemině Kbely i se špenátem. Na rozdíl od Cd, u něhož se na celkovém odběru podílela větší část nadzemní hmoty, v případě As byl vyšší podíl ostatních částí.

Pro dokreslení vztahů v systému půda–rostlina je používáno tzv. transferfaktoru (T_f) prvků, který je definován celkovým obsahem prvku v rostlině nebo její části v poměru k celkovému obsahu prvku v půdě. Námi stanovené průměrné hodnoty T_{fCd} ukázaly, že tyto hodnoty jsou ovlivněny nejen pěstovanou rostlinou, popřípadě její částí, ale i obsahem Cd v půdě (tab. IV). S rostoucí akumulční schopností jednotlivých částí rostlin stoupal i T_{fCd} a v rámci jedné půdy je vhodným údajem charakterizujícím danou rostlinu, popřípadě její část. Minimální akumulace byla zjištěna v lusech a semenech fazolu ($T_{fCd} = 0,001$ až $0,14$). Naopak, maximální hodnoty byly stanoveny v listech špenátu a ředkvičky ($T_{fCd} = 1,50$ až $3,59$). Hodnota T_{fCd} určité plodiny však neposkytlá dostatečnou informaci o změnách obsahu Cd jednotlivých půd. Na půdě s celkově nejnižším obsahem celkového Cd (Přerov) byly v průměru všech sledovaných částí rostlin hodnoty T_{fCd} nejvyšší a na půdě kontaminované Cd (Kbely) naopak nejnižší. Hodnocení akumulace Cd pomocí T_f není u půd s velkým rozdílem celkových obsahů příliš vhodné a dá se využít především pro jednu půdu a na ní pěstované spektrum plodin.

Hodnoty T_{fAs} jsou shrnuty v tab. V. Vzhledem k nižšímu obsahu As v biomase a vyššímu celkovému obsahu v půdě jsou v průměru hodnoty T_{fAs} v řadě případů i o řád nižší než T_{fCd} . Podobně jako v případě Cd byly významné rozdíly mezi hodnotami T_{fAs} jednotlivých

IV. Hodnoty transferfaktoru Cd (T_{fCd}) jednotlivých částí rostlin – Values of Cd transferfactor (T_{fCd}) in analysed parts of plants

Zemina ¹	Oves ²	Špenát ³		Ředkvička ⁴		Mrkev ⁵		Fazol ⁶		
		listy ⁷	kořeny ⁸	listy	bulvy ⁸	listy	kořeny	rostliny ⁹	lusky ¹⁰	semena ¹¹
Přerov	0,60	3,32	3,09	3,32	1,48	1,90	0,96	0,320	0,100	0,140
Kbely	0,15	1,50	1,62	1,65	0,69	0,45	0,25	0,048	0,010	0,005
Lahoš	0,26	3,59	1,69	1,91	0,48	1,01	0,41	0,095	0,038	0,037

T_{fCd} = celková koncentrace Cd v rostlině/celková koncentrace Cd v půdě – total concentration of Cd in plants/total concentration of Cd in soil

¹soil, ²oat, ³spinach, ⁴radish, ⁵carrot, ⁶bean, ⁷leaves, ⁸roots, ⁹plants, ¹⁰pods, ¹¹seeds

V. Hodnoty transferfaktoru As (T_{fAs}) jednotlivých částí rostlin – Values of As transferfactor (T_{fAs}) in analysed parts of plants

Zemina ¹	Oves ²	Špenát ³		Ředkvička ⁴		Mrkev ⁵		Fazol ⁶		
		listy ⁷	kořeny ⁸	listy	bulvy ⁸	listy	kořeny	rostliny ⁹	lusky ¹⁰	semena ¹¹
Přerov	0,139	0,270	1,040	0,209	0,142	0,158	0,164	0,270	0,040	0,008
Kbely	0,034	0,031	0,113	0,032	0,056	0,031	0,016	0,057	0,009	0,001
Lahoš	0,025	0,019	0,101	0,032	0,034	0,031	0,016	0,061	0,016	0,001

T_{fAs} = celková koncentrace As v rostlině/celková koncentrace As v půdě – total concentration of As in plants/total concentration of As in soil

For 1–11 see Tab. IV

vých rostlin nebo jejich částí na jedné půdě, ale ani v případě As se na základě Tf nedalo porovnávat nebezpečí hromadění As vybranou rostlinou na různě kontaminovaných půdách. I tentokrát byly na půdách s nejvyšším obsahem As stanoveny nejnižší hodnoty Tf.

Poděkování

Tento příspěvek shrnuje část výsledků získaných při řešení projektu GA ČR číslo 511/95/0557 a autoři děkují za finanční podporu, která umožnila řešení této problematiky.

LITERATURA

ADRIANO, D. C.: Trace elements in the terrestrial environment. New York, Springer Verlag 1986.
ALLOWAY, B. J.: Heavy metals in soils. New York, John Wiley & Sons 1990. 331 s.
DAVIES, B. E.: Uptake of cadmium, copper, lead and zinc from contaminated soils by radish (*Raphanus sativus* L.). Wat. Air Soil Pollut., 63, 1992: 331–342.
HE, Q. B. – SINGH, B. R.: Crop uptake of cadmium. I. Yield and cadmium content. Wat. Air Soil Pollut., 74, 1994: 251–265.
KABATA-PENDIAS, A. – PENDIAS, H.: Trace elements in soils and plants. Boca Raton, Florida, CRC Press 1986. 315 s.
KEEFER, R. F. – SINGH, R. N. – HORVATH, D. J.: Chemical composition of vegetables grown on an agricultural soil amended with sewage sludges. J. Envir. Qual., 15, 1986 (2): 146–152.

McKENNA, I. M. – CHANEY, R. L. – WILLIAMS, F. M.: The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. Envir. Pollut., 79, 1993: 113–120.
MIHOLOVÁ, D. – MADER, P. – SZÁKOVÁ, J. – SLÁMOVÁ, A. – SVATOŠ, Z.: Czechoslovak biological certified reference materials and their use in the analytical quality assurance system in a trace element laboratory. Fresenius J. Anal. Chem., 345, 1993: 256–260.
NRIAGU, J. O.: Arsenic in the environment. Part I. Cycling and characterization. Vol. 26. Ser. Adv. Envir. Sci. Technol. New York, John Wiley & Sons 1994. 186 s.
PODLEŠÁKOVÁ, E. – NĚMEČEK, J. – HÁLOVÁ, G.: Zátížení nívních půd Labe rizikovými látkami. Rostl. Vyr., 40, 1994a (1): 69–79.
PODLEŠÁKOVÁ, E. – NĚMEČEK, J. – VÁCHA, R.: Kontaminace půd severočeského regionu rizikovými prvky. Rostl. Vyr., 40, 1994b (2): 123–130.
SADIQ, M. – ZAIDI, T. H. – MIAN, A. A.: Environmental behavior of arsenic soils: Theoretical. Wat. Air Soil Pollut., 20, 1983: 369–377.
SHEPPARD, S. C.: Summary of phytotoxic levels of soil arsenic. Wat. Air Soil Pollut., 64, 1992: 539–550.
TLUSTOŠ, P. – BALÍK, J. – PAVLÍKOVÁ, D. – SZÁKOVÁ, J.: Přijem kadmia, zinku, arzenu a olova vybranými plodinami. Rostl. Vyr., 43, 1997 (10): 487–494.
TLUSTOŠ, P. – DIJK, D. VAN – SZÁKOVÁ, J. – PAVLÍKOVÁ, D.: Uvolňování Cd a Zn vybranými vyluhovací. Rostl. Vyr., 40, 1994 (12): 1107–1121.

Došlo 21. 5. 1998

Kontaktní adresa:

Ing. Pavel Tlustoš, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 27 33, fax: 02/20 92 03 12, e-mail: tlustos@af.czu.cz

Z VĚDECKÉHO ŽIVOTA

Nedožitých sto let prof. Ing. Dr. Emila Kunze, DrSc.

Dne 17. září 1997 zemřel ve věku 99 let prof. Ing. Dr. Emil Kunz, DrSc., emeritní profesor a rektor Vysoké školy zemědělské v Praze.

Na VŠZ v Praze nastoupil hned po jejím založení a působil zde na katedře rostlinné výroby, která měla velmi široké pedagogické a výzkumné zaměření. Zahradila tehdejší ústavy pícninářství, zahradnictví, šlechtění rostlin a speciální produkce rostlinné. Prof. Kunz přišel na VŠZ v Praze ze Státních výzkumných ústavů zemědělských, kde pracoval 25 let v oblasti rostlinné produkce, zejména v pícninářství. S prof. Klečkou vytvořili nerozlučnou dvojici odborníků a společně založili moderní české, resp. československé pícninářství, prof. Kunz působil totiž po válce právě v tomto oboru jako zmocněnec ministerstva zemědělství v Bratislavě.

Po svém nástupu na VŠZ v Praze se stal vedoucím katedry rostlinné výroby, později prorektorem a v letech 1966 až 1970 rektorem. Mezitím zastával různé funkce na MZe a v ČSAZV. Pro nás, jeho žáky a aspiranty, byl vždy velkým příkladem. Přínosem byl jeho široký rozhled v celé oblasti zemědělství, jak bylo u této generace zemědělských odborníků obvyklé. Každý dílčí problém viděl ve všech souvislostech, včetně otázek ekonomických.

Pamětníci z období předválečného by jistě vzpomněli tzv. polních kázání, která zavedli s prof. Klečkou, a předávali tak odborné veřejnosti nejnovější vědecké poznatky, čímž zvyšovali úroveň našeho zemědělství, zejména pícninářství a lukařství. Bezprostřední kontakt se zemědělskou praxí jim umožnil rychle a iniciativně řešit aktuální problémy. Jejich bohatá vědecká invence se projevila v době zadaných tématech diplomových a aspirantských prací, z nichž bylo možné mnoho vytěžit pro další vědeckou i pedagogickou práci.

Funkci rektora vykonával prof. Kunz v době jistého uvolnění politického, což se promítlo zejména do realizace zahraničních styků, které značně podporoval. Známý proces normalizace však tyto trendy ukončil. S ním souvisely pak i změny ve funkci rektora v roce 1970. Aktivita prof. Kunze a jeho pracovitost ještě i ve věku přes 70 let byla obdivuhodná. I po odchodu do důchodu se dál zajímal o práci na VŠZ a měl radost z jejích úspěchů. Bylo nám dopřáno se s ním ještě dlouho setkávat a radovat se z jeho životní síly, která mu umožnila dožít se požehnaného věku. Jeho osobnost patří k historii dnešní České zemědělské univerzity, resp. k historii zemědělské vědy a našeho zemědělství vůbec.

Prof. Ing. Jiří Petr, DrSc.

VLIV DLOUHODOBÉHO HNOJENÍ A VÁPŇENÍ NA pH PŮDY A VÝNOSY PLODIN

THE EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZING AND LIMING ON SOIL pH AND CROP YIELDS

K. Trávník¹, V. Vaněk², R. Němeček², K. Petrášek¹

¹Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno, Czech Republic

²Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: Ca content in soil (Mehlich II), variations of soil pH values and crop yields in 1990 to 1997 were evaluated at five sites with long-term stationary plant nutrition trials. Tab. I shows the site characteristics. Differentiated application rates in the particular variants and identical crop rotations were used at all sites: at Lipa and Libějovice since 1974, at Chrástava since 1977, and at Staňkov and Svitavy since 1980. These crops were grown at all sites in the period of evaluation: oats with clover underseeding in 1990, meadow clover in 1991, winter wheat in 1992, potatoes in 1993, winter wheat in 1994, spring barley in 1995, potatoes in 1996, spring barley in 1997. Four fertilization variants were evaluated: var. 1 unfertilized, var. 2 farmyard manure + liming, var. 3 farmyard manure, NPK + liming, var. 4 farmyard manure + NPK. Farmyard manure was applied at a rate of 40 t/ha in fall 1992 and 1995, liming in form of limestone application was carried out on the basis of soil analysis in fall 1991 and 1994 at rates of 2.8 and 1.6 t at Chrástava, 0.7 and 0.8 t at Libějovice, 2.0 and 0.8 t at Lipa, 1.2 and 0.8 t at Staňkov and 2.5 and 0.8 t at Svitavy. An annual dose of phosphorus was 52.3 kg P and that of potassium 132.8 kg K (per ha). Nitrogen application rates for the separate crops (per ha): 100 kg to oats with underseeding, 140 kg to winter wheat, 160 kg to potatoes, and 92 kg to spring barley after wheat and 80 kg to spring barley after potatoes. A decrease in soil pH values and a reduction in Ca content in soil were recorded in variants without liming. Substantially higher variations were determined for variants with fertilizer applications. Regular liming (var. 2 and 3) maintained soil pH values around 6, and higher Ca concentrations in soil. A high positive correlation ($r = 0.94$) was calculated for the relation between pH value and Ca content in soil. The yield on unfertilized plots over eight years in total was 31.4 to 39.9 cereal units per ha at the separate sites. Yields were increased by applications of farmyard manure and liming (var. 2) against unfertilized variant by 1.6 to 15.4% subject to the site, an average increase at all sites was 10.9%. A yield increase on plots with farmyard manure and fertilizer applications (var. 4) was 47.6 to 83.7% against unfertilized variant, and 59.6% on average for all sites. The variant with farmyard manure and fertilizer applications and liming (var. 3) gave the highest yields, an increase against unfertilized variant was 59.6 to 102.8%, an average increase for all sites being 74.1%. Yields were increased by 2.0 to 17.8% by liming only (comparison of var. 3 and 4), an average increase for all sites was 9.1%. In order to maintain the required soil fertility and yield stability, applications of farmyard manure, fertilizers and liming are necessary at all sites.

fertilizing; farmyard manure; NPK; liming; soil pH; crop yields

ABSTRAKT: V dlouhodobých výživářských pokusech byly v osmiletém osevním postupu (1990 až 1997) sledovány na pěti stanovištích změny pH, obsahu Ca v půdě (Mehlich II) a výnosy plodin. Na všech stanovištích došlo u nevápňených variant k poklesu pH půd a snížil se obsah Ca v půdě. Výrazně vyšší změny byly zaznamenány u varianty hnojené průmyslovými hnojivy. Pravidelné vápnění udrželo u půd úroveň okolo pH 6 a vyšší hladinu Ca v půdě. Byla shledána vysoká kladná korelace ($r = 0,94$) mezi hodnotou pH a obsahem Ca v půdě. Nehnojená varianta poskytla za osm let celkem na jednotlivých stanovištích výnos 31,4 až 39,9 obilních jednotek z 1 ha. Hnojení hnojem a vápnění (varianta 2) zvýšilo výnos oproti nehnojené variantě podle stanovišť o 1,6 až 15,4 %, v průměru všech stanovišť o 10,9 %. U varianty 4 (hnojené hnojem a průmyslovými hnojivy) byl zvýšen výnos oproti nehnojené variantě o 47,6 až 83,7 %, v průměru všech stanovišť o 59,6 %. Varianta 3 (hnojená hnojem, průmyslovými hnojivy a navíc vápněná) poskytla nejvyšší výnosy, oproti nehnojené variantě o 59,6 až 102,8 %, v průměru všech stanovišť o 74,1 %. Samotné vápnění (porovnání variant 3 a 4) zvýšilo výnosy o 2,0 až 17,8 %, v průměru všech stanovišť o 9,1 %. Pro udržení potřebné půdní úrodnosti a stabilních výnosů plodin je na všech hodnocených stanovištích hnojení hnojem a průmyslovými hnojivy i vápnění nezbytné.

hnojení; hnůj; NPK; vápnění; pH půd; výnosy plodin

ÚVOD

Vápnění je jedním ze základních opatření, ovlivňující úrodnost a produkční schopnost zemědělských půd. Významně se podílí na zlepšení či udržení potřebných půdních vlastností, a tím na zajištění dobrých podmínek pro rostliny. Významně zasahuje do živinného re-

v letech 1990 až 1997. Na všech stanovištích byly v jednotlivých letech pěstovány tyto plodiny: 1990 oves s podsevem jetele lučního, 1991 jetele lučního, 1992 ozimá pšenice, 1993 brambory, 1994 ozimá pšenice, 1995 jarní ječmen, 1996 brambory a 1997 jarní ječmen. Všechna stanoviště se nacházejí v bramborářské výrobní oblasti a jejich charakteristika je uvedena v tab. I.

I. Půdně-klimatická charakteristika pokusných stanovišť – Soil and climatic characteristics of experimental sites

Stanoviště ¹	Půdní typ ²	Půdní druh ⁵	Průměrné srážky ⁸ (mm)	Průměrná teplota ⁹ (°C)	Nadmořská výška ¹⁰ (m)
Chrastava	hnědozem ³	písečitohlinitá ⁶	798	7,1	345
Libějovice	kambizem ⁴	písečitohlinitá	575	7,9	460
Lípa	kambizem	písečitohlinitá	629	7,6	505
Staňkov	kambizem	hlinitopísečná ⁷	510	7,8	370
Svitavy	kambizem	písečitohlinitá	624	6,5	460

¹site, ²soil type, ³Orthic Luvisol, ⁴Cambisol, ⁵soil texture, ⁶sandy loam, ⁷loamy sand, ⁸average precipitation, ⁹average temperature, ¹⁰height above sea level

žimu půd a do jejich biologické činnosti a má též vliv na rozpustnost řady sloučenin. Má také nezastupitelnou úlohu v ochraně životního prostředí a v omezení průniku některých rizikových látek, především těžkých kovů, do potravního řetězce (Penk – cit. Vaněk, Penk, 1991).

Rozdílná sorpční kapacita a zastoupení Ca v sorpčním komplexu v půdách rozhoduje o množství výměnného Ca v půdě. Těžší půdy s ohledem na vyšší sorpční kapacitu mají většinou vyšší zásobu výměnného Ca, jsou proto také schopny delší období vyrovnávat jeho ztráty a změny půdních vlastností jsou pozvolnější než u půd lehkých. Vzhledem k tomu, že největší ztráty Ca z půd vznikají jeho vyplavením (Šlepička, 1974; Šilar, 1981 aj.), je vápnění nutné především u orných, propustnějších půd v humidnějších podmínkách.

Po roce 1990 u nás výrazně poklesla spotřeba vápenatých hnojiv. Jak uvádí Mezuliánik (1996), z původních 2,5 mil. t poklesla spotřeba na úroveň 200 až 300 tis. t ročně. Tento pokles zatím výrazněji neovlivnil podíl kyselých půd. Podle kontroly půdní úrodnosti stagnuje množství kyselých půd (pH pod 5,5) asi na 15 % výměry zemědělské půdy (Čermák, Sušil, 1997). Jsou však oprávněné obavy, že při dlouhodobě nízké úrovni vápnění poklesne půdní úrodnost, sníží se množství i kvalita rostlinných produktů a zhorší se životní prostředí. Vyšší potřebu vápnění v dalších letech bude obtížné řešit ekonomicky, technicky i organizačně (Vaněk et al., 1997).

MATERIÁL A METODA

V příspěvku jsou hodnoceny výsledky čtyř variant přesných dlouhodobých, stacionárních, výživářských pokusů z pěti stanovišť (Chrastava, Libějovice, Lípa, Staňkov a Svítavy) ÚKZÚZ za poslední osevní sled

Pokusné roky se značně rozdílným průběhem povětrnosti lze charakterizovat takto: 1990 srážkově silně pod normálem a teplotně normální, 1991 srážky silně a teploty mírně pod normálem, 1992 srážky pod normálem a teploty mírně nad normálem, 1993 srážky a teplota okolo normálu, 1995 srážky pod normálem a teplota nad normálem, 1996 srážky výrazně a teplota mírně nad normálem, 1997 srážky nad normálem a teplota v mezích normálu.

V Lípě a Libějovicích od roku 1974, v Chrastavě od roku 1977 a ve Staňkově a Svítavách od roku 1980 bylo používáno diferencované hnojení jednotlivých variant (celkem 12 variant v šesti opakováních). Hodnocené varianty uvádí tab. II.

II. Varianty hnojení a vápnění – Fertilizing and liming variants

Varianta ¹	Hnojení ²
1	nehnojeno ³
2	chlévký hnůj ⁴ + vápnění ⁵
3	chlévký hnůj + NPK + vápnění
4	chlévký hnůj + NPK

¹variant, ²fertilizing, ³unfertilized, ⁴farmyard manure, ⁵liming

Chlévký hnůj byl v osevním sledu aplikován dvakrát k bramborám, a to na podzim 1992 a 1995 v dávce 40 t/ha. Potřeba vápnění byla stanovena podle pH a půdního druhu. Vápnění bylo realizováno na podzim 1991 před ozimou pšenicí a na podzim 1994 před jarním ječmenem v dávkách uvedených v tab. III. K vápnění byl použit mletý vápenec. Roční dávka fosforu v granulovaném superfosfátu činila 52,3 kg P/ha a draslíku v draselné soli 132,8 kg K/ha. Dusík byl aplikován při přípravě půdy k setí a sázení v síranu

	Varianta ¹ 2		Varianta 3	
	1991	1994	1991	1994
Chrastava	1,4	1,6	2,8	3,2
Libějovice	0,7	0,8	1,4	1,6
Lípa	0,0	0,8	1,4	1,6
Staňkov	0,6	0,8	1,0	1,4
Svitavy	0,0	0,0	2,5	0,8

¹variant

amoném a při hnojení na list v ledku amoném s vápencem. Dávky dusíku na 1 ha byly diferencovány pro jednotlivé plodiny: oves s podsevem 100 kg, ozimá pšenice 140 kg, brambory 160 kg, jarní ječmen po pšenici 92 kg a po bramborách 80 kg N.

Odběr vzorků půd pro sledování jejich agrochemických vlastností byl uskutečněn každoročně po sklizni plodin podle zásad pro agrochemické zkoušení půd. V jemnozemi byla stanovena hodnota pH (v suspenzi 0,2M KCl) a obsah Ca metodou podle Mehlicha II.

Výnosové výsledky byly přepočteny na obilní jednotky (OJ) a jsou znázorněny graficky. Svislé úsečky v grafech představují směrodatné odchylky.

Na zkušebních stanicích ÚKZÚZ byly v letech 1972 až 1980 založeny přesné stacionární výživářské pokusy (devět v bramborářské a pět v řepářské výrobní oblasti) za účelem sledování vlivu různých intenzit hnojení na výnosy plodin a agrochemické vlastnosti půd. V předloženém příspěvku jsou hodnoceny čtyři varianty z pěti stanovišť. Přehledné výsledky těchto pokusů a podmínky stanovišť (všech 12 variant ze 14 stanovišť) uvádí Trávník (1995) a za celý poslední osevní sled 1990 až 1997 Hodanová (1998).

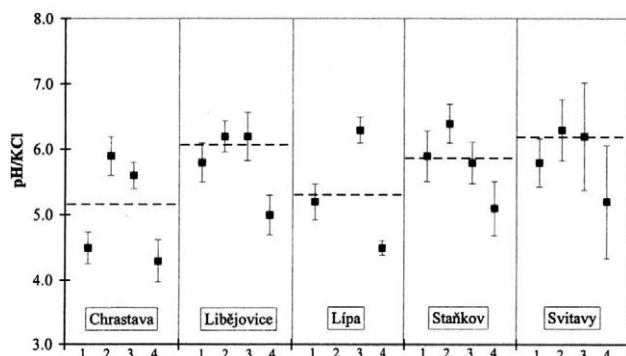
VÝSLEDKY A DISKUSE

Změny pH půd vlivem různého hnojení znázorňuje obr. 1. Je zřejmé, že na všech stanovištích došlo k po-

klesu hodnoty pH u nevápněných variant (1 a 4). Vyšší pokles byl na variantě hnojené (4) než neuhnojené (1), což souvisí s použitím průmyslových hnojiv, hlavně dusíkatých, majících dosti výrazný aciditní charakter (Sluijsmans, 1970; Šilar, 1978 aj.). Z hodnocených stanovišť byl vyšší pokles pH v Chrastavě a Lípě, kde byly zaznamenány hodnoty pH pod 5,0. Nižší pokles pH na ostatních stanovištích je dán jednak tím, že zde byly vyšší hodnoty pH před založením pokusů, a ve Staňkově a Svitavách zřejmě také tím, že pokusy byly založeny později, a jde tedy o kratší pokusné období. Pravidelné vápnění (varianty 2 a 4) udrželo pH na původní hodnotě (Libějovice, Staňkov a Svitavy) nebo pH zvýšilo (Chrastava a Lípa). Změny pH po vápnění byly zaznamenány v následujícím roce, případně ještě v roce dalším a většinou nebyly vyšší než pH 0,5. Lze konstatovat, že na všech stanovištích se u vápněných variant pohybovalo pH okolo 6, což je z hlediska druhu půd a stanovištních podmínek optimální hodnota. Současné to dokumentuje, že dávky vápenatých hmot, stanovené na základě pH půd a půdního druhu, v daných podmínkách plně vyhovují. Uváděné směrodatné odchylky dokazují určité kolísání pH, zvláště na některých stanovištích (Svitavy). Zároveň poukazují na nutnost hodnocení pH, ale i na potřebu vápnění v delší časové řadě.

Obsah Ca v půdě, stanovený metodou Mehlich II, znázorňuje obr. 2. Je zřejmé, že u nevápněných variant byl obsah Ca nižší. Větší rozdíly mezi vápněnými a nevápněnými variantami byly zjištěny na stanovištích v Lípě a Chrastavě. Nejnížší hodnoty vykazovala na všech stanovištích varianta 4 (hnojená a nevápněná). V letech po vápnění nedošlo k výraznému nárůstu obsahu Ca v půdě, což je zřejmě dáno malou rozpustností aplikovaného vápence i tím, že obsah Ca před vápněním nebyl v půdách u variant 2 a 3, které vykazovaly podle pH potřebu vápnění, ještě výrazně nižší. Dá se předpokládat, že změny pH indukují potřebu vápnění dříve než změna obsahu Ca.

Porovnáme-li hodnoty pH a obsahu Ca, je patrná jednoznačná závislost (obr. 1 a 2). Při statistickém hod-

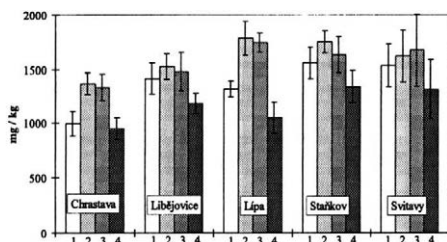


1. Průměrné hodnoty pH na jednotlivých stanovištích v letech 1990 až 1997 – Average pH values at the experimental sites in 1990 to 1997

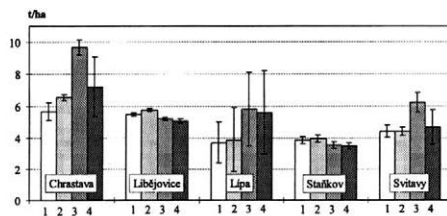
--- pH před založením pokusu – pH before experiments started

| směrodatná odchylka – standard deviation

osa x: varianty – x axis: variants

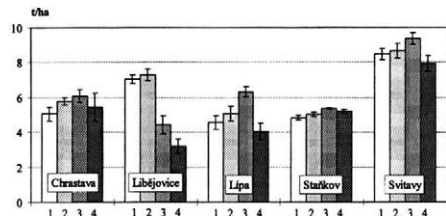


2. Průměrný obsah vápníku na jednotlivých stanovištích v letech 1990 až 1997 (Mehlich II) – Average calcium contents at the experimental sites in 1990 to 1997 (Mehlich II)



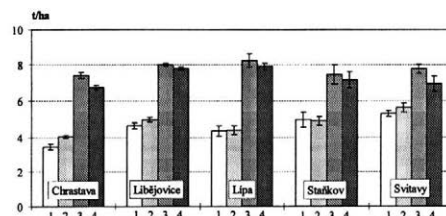
4. Průměrné výnosy ozimé pšenice (1992) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average winter wheat yields (1992) at the experimental sites in cereal units

předplodina jetel – clover as forecrop



3. Průměrné výnosy jetele (1991) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average clover yields (1991) at the experimental sites in cereal units

předplodina oves – oat as forecrop



5. Průměrné výnosy ozimé pšenice (1994) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average winter wheat yields (1994) at the experimental sites in cereal units

předplodina brambory – potatoes as forecrop

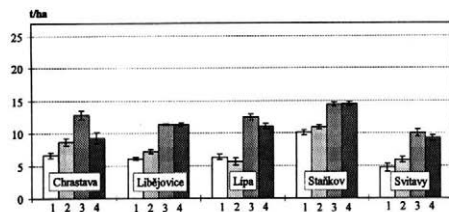
nocení závislosti mezi hodnotou pH a obsahem Ca byla sledována vysoká korelace ($r = 0,94$). Z hodnot směrodatných odchylek je také zřejmé, že na stanovištích a u variant, kde byl vyšší rozptyl hodnot pH, bylo i vyšší kolísání obsahu Ca.

Výnosy jednotlivých plodin přepočtené na obilní jednotky jsou znázorněny na obr. 3 až 9. Výnos jetele (obr. 3) byl na většině stanovišť dost vyrovnaný u všech sledovaných variant. Lze zaznamenat tendenci vyššího výnosu (kromě varianty 3 v Libějovicích) u hnojených a vápněných variant (2 a 3) a naopak u varianty 4 (hnojená a nevápněná) byl výnos nižší. Výrazně nižší výnos jetele na variantách 3 a 4 v Libějovicích se dá vysvětlit tím, že poměrně hustý a urostlý porost krycí plodiny měl za následek horší stav jetele.

Údaje na obr. 4 a 5 představují výnosy ozimé pšenice. Protože v hodnoceném osevním postupu byla ozimá pšenice zařazena dvakrát (po jeteli a po bramborách), projevuje se současně vliv předplodiny a ročníku. Zcela jednoznačně lze konstatovat nižší přírůstek výnosu pšenice u hnojených variant v roce 1992 (předplodina jetel) a naopak výrazné zvýšení výnosů v roce 1994 (předplodina brambory). Zřejmě příznivější podmínky pro pšení byly v roce 1994, kdy výnosy varianty 3 se na všech stanovištích pohybovaly nad 7 t OJ z 1 ha a také nehnojená varianta poskytovala poměrně vysoké

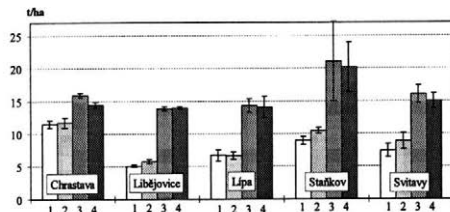
výnosy. Nižší výnos varianty 4 (bez vápnění) oproti variantě 3 byl zaznamenán na všech stanovištích v obou pokusných letech, ale pouze v Chrastavě a ve Svitavách šlo o rozdíly průkazné nebo na hranicích průkaznosti. Lze proto konstatovat, že nižší hodnoty pH, které byly na sledovaných stanovištích zjištěny, ještě výrazně negativně neovlivňují ozimou pšenic. Potvrzuje to rozhodující úlohu zrnitostního složení půd pro pH daného stanoviště a skutečnost, že na lehčích půdách lze úspěšně pěstovat i plodiny, které jsou řazeny k plodinám vyžadujícím vyšší pH. Proto také nelze očekávat na zrnitostně rozdílných půdách při stejné hodnotě pH shodnou výnosovou odezvu těchto plodin na vápnění. Pozoruhodné je zjištění, že varianta 2 (hnojená hnojem a vápněná) nedává v roce 1994 (druhým rokem po hnojení hnojem) výrazněji vyšší výnosy než varianta nehnojená.

Přepočtené výnosy brambor na OJ jsou znázorněny na obr. 6 a 7. Ze dvou hodnocených pokusných let jsou zřejmě výrazně vyšší výnosy v roce 1996, který byl pro pěstování brambor velmi příznivý. Nejvyšší výnosy byly dosaženy u varianty 3 (hnojená hnojem i průmyslovými hnojivy), což je ve shodě s obecně známými poznatky o nutnosti hnojení organickými i průmyslovými hnojivy. Ani u brambor není zaznamenán výrazně a jednoznačně vyšší výnos hlíz (zvláště v roce 1996)



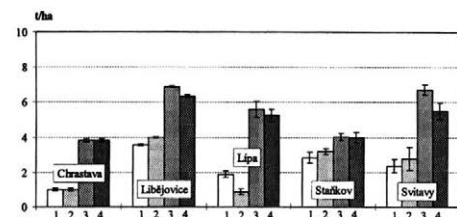
6. Průměrné výnosy brambor (1993) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average potato yields (1993) at the experimental sites in cereal units

předplodina ozimá pšenice – winter wheat as forecrop



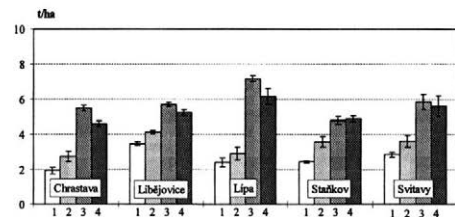
7. Průměrné výnosy brambor (1996) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average potato yields (1996) at the experimental sites in cereal units

předplodina jarní ječmen – spring barley as forecrop



8. Průměrné výnosy jarního ječmene (1995) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average spring barley yields (1995) at the experimental sites in cereal units

předplodina ozimá pšenice – winter wheat as forecrop



9. Průměrné výnosy jarního ječmene (1997) na pokusných stanovištích v obilných jednotkách – Average spring barley yields (1997) at the experimental sites in cereal units

předplodina brambory – potatoes as forecrop

u kombinace hnojené hnojem oproti nehnojené variantě. Absence vápnění u varianty 4 sice většinou snižuje mírně výnos na většině stanovišť, ale pouze v Chrástavě jde o průkazné snížení v obou letech, což potvrzuje vysokou toleranci brambor ke změnám pH půdy.

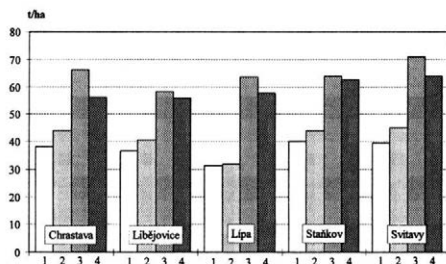
Výsledky na obr. 8 a 9 dokumentují výrazný vliv plného hnojení (varianta 3) na výnos jarního ječmene, zvláště na stanovišti Lípě. Nižší výnosová úroveň byla většinou v roce 1995, kdy výnosy na nehnojené variantě poklesly v Lípě a Chrástavě pod 2 t/ha. Rozdílné bylo následné působení hnoje (hnojeno k předplodině, varianta 2). V roce 1995 bylo oproti nehnojené variantě průkazně lepší jen v Libějovicích, v roce 1996 působilo průkazně zvýšení výnosů na všech stanovištích kromě Lípě. Absence vápnění u varianty 4 snižovala výnos ječmene v roce 1995 v Libějovicích a Svitavě a v roce 1996 ve Chrástavě, Libějovicích a Lípě. Jednoznačně lze konstatovat, že dostatečné hnojení stabilizuje výnosy v jednotlivých letech.

Souhrnné výsledky výnosů za celý osevní postup (1990 až 1997) v obilných jednotkách uvádí obr. 10. Na nehnojené variantě se celkový výnos na jednotlivých stanovištích pohyboval od 31,4 do 39,9 OJ z 1 ha. Nejvyšší výnos byl dosažen v Lípě, kde zřejmě dlouhodobá absence hnojení (od roku 1974) již značně snižila celkovou půdní úrodnost. Naopak, výnos na hranici 40 t OJ, resp. okolo 5 t OJ z 1 ha ročně poskytl ještě nehnojené

varianty ve Staňkově a ve Svitavě, což zřejmě souvisí s celkově vyšší úrodností půd těchto stanovišť, ale také se skutečností, že pokusy zde byly založeny o šest let později než v Lípě a absence hnojení byla kratší.

Hnojení hnojem a vápnění (varianta 2) zvýšilo výnos o 1,6 až 15,4 % oproti nehnojené variantě, průměrné zvýšení na všech stanovištích dosáhlo 10,9 %, což v podstatě odpovídá dnes často propagovanému alternativnímu či organickému zemědělství. Je však zřejmé, že při jeho dlouhodobém uplatňování na sledovaných stanovištích není možné zajistit potřebnou obnovu půdní úrodnosti a výnosy plodin klesají často na úroveň nehnojené varianty. Jetel pěstovaný jednou za osm let sice značně zvýšil výnosy a vyrovnal výnosovou úroveň, ale v dalších letech dochází k výrazné diferenciaci výnosů ve prospěch plně hnojených variant. Přísun živin a dalších látek hnojem v podstatě nestačí na obnovu půdních vlastností a ani výnosy brambor po aplikaci hnoje nejsou výrazně vyšší (obr. 6 a 7).

Varianta 3 (plně hnojená) poskytla nejvyšší výnosy na všech stanovištích, které se pohybovaly v rozmezí 58,2 až 70,9 OJ z 1 ha za osevní postup, což představuje zvýšení oproti nehnojené variantě o 59,6 až 102,8 % a v průměru všech stanovišť o 74,1 %. Nejvyšší nárůst výnosů vlivem plného hnojení byl v Lípě (102,8 %) a nejnižší v Libějovicích a Staňkově (59,6 a 59,8 %).



10. Celkový výnos na pokusných stanovištích v obilních jednotkách v letech 1990 až 1997 – Total yield at the experimental sites in cereal units in 1990 to 1997

Varianta 4 hnojená hnojem a průmyslovými hnojivy bez vápnění poskytla na všech stanovištích nižší výnos než varianta 3. Výrazný byl rozdíl v Chrástavě a ve Svitavách, zatímco poměrně malé snížení výnosů bylo zaznamenáno ve Staňkově. Posuzujeme-li celkovou úroveň výnosů mezi variantami 3 a 4, vyššího výnosu bylo dosaženo u varianty 3, navíc vápněné (o 9,1 %). Výsledky jsou ve shodě s našimi dosavadními poznatky ze stanovišť Lupa a Svitavy (Trávník, 1995; Vaněk et al., 1997).

Závěry z dlouhodobých výživářských pokusů ukazují na nutnost pravidelného hnojení organickými a průmyslovými hnojivy. Jedině tak se dá udržet, případně zvýšit půdní úrodnost a využít výnosový potenciál stanoviště. K důležitým opatřením patří i vápnění, od kterého většinou není možné očekávat okamžitý efekt, ale je velmi významné z hlediska dlouhodobého působení.

LITERATURA

- ČERMÁK, P. – SUŠIL, A.: Kontrola úrodnosti půdy za období 1993–1995. Brno, ÚKZÚZ 1997. 118 s.
- HODANOVÁ, J.: Sledování vlivu různé intenzity hnojení na výnosy plodin a vývoj agrotechnických vlastností půd. [Závěrečná zpráva.] Brno, ÚKZÚZ 1998.
- MEZULIÁNIK, M.: Spotřeba vápenatých hnojiv v ČR. In: Sbor. Konf. Racionální použití průmyslových hnojiv – vápnění a hnojení hořčíkem, 1996: 27–30.
- PENK, J.: Vápnění jako zúrodňovací a agroekologické opatření. In: VANĚK, V. – PENK, J.: Vápnění zemědělských půd. Praha 1991: 7–13.
- SLEPIČKA, J.: Vysoké dávky živin a jejich vyplavování v různých ekologických podmínkách. Rostl. Výr., 20, 1974: 1015–1023.
- SLUIJSMANS, C. M. J.: Der Einfluss von Düngemitteln auf den Kalkzustand des Bodens. Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkd., 126, 1970: 97–203.
- ŠILAR, J.: Bilance vápníku v rostlinné výrobě ČSSR. Rostl. Výr., 24, 1978 (2): 147–159.
- TRÁVNÍK, K.: Výsledky dlouhodobých pokusů deklarujících účinnost a účelnost hnojení. In: Sbor. Konf. Racionální použití průmyslových hnojiv, 1995: 26–31.
- VANĚK, V. – NAJMANOVÁ, J. – PETR, J. – NĚMEČEK, R.: Vliv hnojení a vápnění na pH půd a výnosy plodin. Rostl. Výr., 43, 1997 (6): 269–274.

Došlo 21. 5. 1998

Kontaktní adresa:

Ing. Karel Trávník, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Hroznová 2, 656 06 Brno, Česká republika, tel.: 05/43 21 73 25, fax: 05/43 21 73 25

TRANSFER RIZIKOVÝCH PRVKŮ Z KONTAMINOVANÉ PŮDY DO VYBRANÝCH ENERGETICKÝCH ROSTLIN

HAZARDOUS ELEMENT TRANSFER FROM CONTAMINATED SOILS TO SELECTED ENERGY PLANTS

S. Ustak, J. Váňa

Research Institute of Crop Production, Praha-Ruzyně, Czech Republic

ABSTRACT: In a two-year trial the applicability of energy crops for removal of trace hazardous elements from contaminated soil was examined. The experiment was conducted on degraded brown soil in a temperate warm and dry locality (long-term average annual temperature is 7.6 °C, long-term annual sum of wet precipitation is 514 mm). In sum four energy plant species were selected as promising crops for hyper-accumulation of hazardous trace elements: 1) *Reynoutria sachalinensis* Nakai, 2) *Malva meluca* Graebn., 3) *Rumex tianshanicus* x *Rumex patientia* (Uteusch), 4) *Sorghum bicolor* L. x *Sorghum sudanense* (hyso). Contamination of soil was modelled by application of sewage sludge from a sewage purification plant to soil in huge total dry matter doses of 110 and 220 t/ha. The trial consisted of five treatment variants: 1) the control variant without sludge application; 2) var. I with application of 110 t/ha dry matter of sludge; 3) var. II with application of 220 t/ha dry matter of sludge; 4) var. IIA 220 t/ha sludge in combination with acidification of soil to pH = 3.5 by repeated application of 0.2% solution of phosphoric acid; 5) var. IIB 220 t/ha sludge in combination with chelate agent treatment by repeated application of 0.02% EDTA solution in sum 1000 l/ha for mobilization of hazardous elements in soil. Every variant was repeated four times. The trial sludge had 28.4% dry matter which contains in sum N 2.63%, P 0.829%, K 0.355%, Ca 1.12%, Mg 0.093% and 56.3% of loss of ignition (LOI). High doses of sludge increased the content of plant nutrients and organic matter in soil (Tab. I) and thereby created good conditions for crop production. The total amounts of hazardous elements in sludge and soil before and after application of 110 and 220 t/ha sludge are shown in Tab. II. The sludge application many times increased the content of eleven observed hazardous elements in soil. In accordance with soil content of nutrients the annual average yield of dry matter increased from control up to var. II and decreased in var. IIA and IIB (Tab. III). The maximum yield was achieved by *Reynoutria sachalinensis*. The difference of nutrient content in each crop between the individual variants of soil treatment is not significant. In contrast with this fact the differences of hazardous element content in observed plants between different soil treatment variants are statistically significant (Tab. IV). Figs 1 to 4 show the ratio increase of hazardous element concentration in individual crops as relative expression in comparison with control variants (100%). The highest concentrations of hazardous elements in aboveground phytomass were determined with *Sorghum* hyso and *Rumex* Uteusch. The results of transferfactor calculation (ratio of plant element concentration to soil element concentration) of each hazardous element are shown in Tab. V. The highest transferfactor was achieved only by *Sorghum* hyso (Cd, Pb, Ni, Zn, Hg, Mn) and *Rumex* Uteusch (Cr, Co, As, Cu, Fe). In many cases the transferfactor value in control variant is higher than in sludge treatment variant. Additional acidification or chelate application (var. IIA and IIB) mostly increased both the element content and the value of transferfactor. The results of decontamination factor calculation (ratio of hazardous element amount in crop yield per ha to element amount in 20 cm surface layer of soil per ha, %) are shown in Tab. VI. The ratio increase of taking factor for each element and crop after various treatments is shown in Figs 5 to 8 as relative expression in comparison with control variant (control = 100%). The highest decontamination occurred in *Reynoutria sachalinensis* (Pb, Cr, Co, As, Hg, Mn). *Sorghum* hyso specifically removes Cd and Zn, *Malva meluca* Ni and *Rumex* Uteusch Cu and Fe. Acidification of soil and using of EDTA significantly increased transfer of hazardous elements from soil to aboveground parts of plants, but at the same time reduced yields of surface phytomass, and thus the total decontamination effect. It was ascertained in the course of two years experiments that decontamination effect of tested energy plants is 14 to 18 times higher than the average effect of traditional agricultural crops. Irrespective of this fact the use of energy crops only for phytoremediation of contaminated soils has not a good perspective because it takes many years to efficiently remove hazardous elements from contaminated soil to crop production. Based on our results, we recommend to use contaminated soil for planting of energy plants, so gradual decontamination would be an added value to phytofuel production.

phytoremediation of contaminated soils; sewage sludge; hazardous elements; energy crops

ABSTRAKT: V maloparcelkovém pokusu byla ve čtyřech opakováních prověřována možnost využití energetických rostlin k odstraňování rizikových prvků z kontaminované půdy. Pokus byl realizován na degradované hnědé půdě na Chomutovsku. Byly testovány tyto plodiny: křídlatka sachalinská, sléz krmný Meljuka, šťovík krmný Uteuša a širok hyso. Kontaminace

půdy byla ve vegetačním pokusu modelována čistírenským kalem v dávkách sušiny 110 a 220 t/ha. Na nejvyšší hladině kontaminace (220 t/ha) byly sledovány dva zásahy na zvýšení transferu rizikových prvků, a to okyselení půdy na pH 3,5 a ošetření chelatizačním činidlem (EDTA). Nejvyšší koncentrace sledovaných prvků v nadzemní fytomase byly nalezeny u čiroku a šřovíku. Nejvyšší dekontaminační účinek vykazovala křídlatka (Pb, Cr, Co, As, Hg, Mn). Okyselení půdy a použití činidla EDTA významně zvýšily transfer kovů z půdy do rostlin, ale zároveň snížily výnosy, a tím i celkový dekontaminační efekt.

fytomeliorace kontaminovaných půd; čistírenský kal; rizikové prvky; energetické plodiny

ÚVOD

Řada vědeckých institucí a soukromých firem prosazuje v současné době použitelnost energetických rostlin za účelem dekontaminace zemědělských půd intoxikovaných rizikovými prvky (Saurbeck, 1989; Saurbeck, Lübbers, 1991; Metz, Wilke, 1992, 1994; Dietz, Krauss, 1995; Váňa, 1997; Watanabe, 1997). V odborných sděleních věnovaných otázce fytomeliorací kontaminovaných půd se občas uvádějí velice optimistické informace. Podle některých z nich např. křídlatka sachalinská je schopna vyčerpávat z 1 ha půdy za rok až 1,3 kg Cd, 24 kg Pb a 322 kg Zn (Haase, 1988) a hořčici sítinovitou lze s využitím agronomického know-how americké firmy Phytotech odstranit ročně až 2000 kg Pb z 1 ha (Bílek, 1998). Větší skupina odborníků však je v otázce použitelnosti rostlin pro dekontaminaci půd střizlivější (Schaller, Dietz, 1991; Metz, Wilke, 1992, 1994; Schneider et al., 1994), někteří dokonce praktické využití této metody zpochybňují (Dietz, Krauss, 1995).

Pro úspěšnost dekontaminace půd pomocí rostlin je zapotřebí řešit především problém zvýšení transferu stopových toxických prvků z půdy do nadzemní fytomasy energetických plodin. Zmíněný úkol se stal náplní projektu GA ČR č. 502/95/0854, jehož výsledky řešení jsou předloženy v této práci.

MATERIÁL A METODA

První etapa projektu byla zaměřena na vytipování energetických rostlin potenciálně vhodných pro fytoremediaci půd kontaminovaných rizikovými prvky. Za tímto účelem byly využity výsledky agrotechnických pokusů s pěstováním energetických rostlin z let 1992 až 1995 (Váňa, Ustálek, 1995). Plodiny vhodné pro dekontaminaci půd od rizikových prvků musejí vykazovat vysoké výnosy nadzemní fytomasy a kumulovat vysoký obsah alespoň jednoho z toxických prvků bez významné újmy na výnosech. Na základě hodnocení výchozí databáze, do které bylo zahrnuto 21 druhů rostlin technicky vhodných pro spalování nebo zplynování, byly určeny čtyři plodiny vyhovující pro dekontaminační účely: 1) křídlatka sachalinská (*Reynoutria sachalinensis*, Nakai), 2) sléz krmený Meljuka (*Malva meluca* Graebn.), 3) šřovík krmený Uteuša (*Rumex tianshanicus* x *Rumex patientia*), 4) čirok hyso – mezdruhový kříženec čirok obecný x čirok sádanský (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*).

Vybrané plodiny byly testovány v maloparcelkovém polním pokusu ve druhé etapě v letech 1996 až 1997 na pokusných pozemcích v Chomutově. Stanoviště patří do teplé a mírně suché lokality řepářského výrobního typu v nadmořské výšce 363 m. Dlouhodobá průměrná teplota vzduchu činí 7,6 °C (za vegetační periodu 13,8 °C) a dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek 514 mm (z toho za vegetační periodu 299 mm).

Pro polní pokusy byla záměrně vybrána degradovaná nízkoprodukční půda, která se svou strukturou a vlastnostmi co nejvíce blíží antropogenně devastovaným půdám pánevní oblasti severních Čech. Půdotvorným substrátem vybraného pozemku je štěrkopísková terasa, se zvýšenou skeletovitostí půdy. Půdním typem je mělká degradovaná hnědá půda, méně strukturní a slabě humózní. Před založením polních pokusů byly z 20 cm orniční vrstvy odebrány půdní vzorky, které byly analyzovány a hodnoceny na základní agrochemické ukazatele podle standardních metodických postupů. Hodnocení agrochemických vlastností řadí pokusnou půdu do kategorie silně kyselých až kyselých s vysokou potřebou vápnění a s velmi nízkou zásobou základních živin a organických látek.

Za účelem modelování zemědělské půdy kontaminované rizikovými prvky a pro zvýšení předpokladů dosažení vysokých výnosů energetických plodin bylo rozhodnuto použít v pokusech velkých dávek čistírenského kalu. Agrochemické vlastnosti pokusného kalu z čistíreny odpadních vod (ČOV) v Kadani svědčí o vysoké živinné kvalitě tohoto kalu (28,4 % sušiny, 2,63 N, 0,83 P, 0,36 K, 1,12 Ca, 0,09 Mg a 56,3 spalitelných látek v % sušiny).

Pro polní pokusy byly zvoleny tři základní varianty:

- 1) kontrolní (nulová) varianta
- 2) var. I – hnojení v dávce 110 t/ha sušiny kalu
- 3) var. II – hnojení v dávce 220 t/ha sušiny kalu (ve dvou modifikacích)
- 4) var. IIA – okyselená na pH = 3,5 opakovanými dávkami 0,2% roztoku kyseliny fosforečné
- 5) var. IIB – ošetřená opakovanými dávkami 0,02% roztoku EDTA (trilon B) v dávce 2 x 500 l/ha

Velikost pokusné parcely byla 12 m², pokus byl čtyřikrát opakován. Setí (výsadba) rostlin proběhlo ve spanu 30 x 50 cm. Kal po aplikaci po dobu dvou týdnů vysychal a následovně byl zapraven do půdy rotavátorem do hloubky 10 až 15 cm. Přídavné prostředky byly aplikovány po zapravení kalu do půdy před vzejitím rostlin.

V pokusech bylo sledováno 11 rizikových prvků (Cd, Pb, Cr, Ni, Co, Zn, As, Hg, Cu, Mn, Fe), státem nor-

movaných v zemědělských půdách nebo rostlinné produkci. Celkový obsah Hg v půdách a rostlinách byl měřen přímo v původním vzorku po jeho homogenizaci pomocí jednoúčelového analyzátoru AMA-254. Pro stanovení všech ostatních prvků byly vzorky rostlin a půd usušeny, zhomogenizovány umletím a zmineralizovány na mokré cestě pomocí lučavky královské za využití vysokotlakého mikrovlnného zařízení Milestone.

Rozborů mineralizátů vzorků rostlin a půd na obsah rizikových prvků probíhaly podle standardních metodických postupů atomové absorpční spektrofotometrie na přístrojích firmy Varian. As byl stanoven pomocí kontinuálního generátoru hydridů VGA-76. Pro kontrolu kvality měření byly použity vzorky z mezinárodních laboratorních testů rostlin a půd prováděných zemědělskou univerzitou ve Wageningen.

Pro jednotlivé prvky, plodiny a varianty pokusů byly z analytických údajů vypočítány tyto charakteristiky:

- transferfaktor (F_t): poměr koncentrace těžkého kovu v rostlině (eventuálně v části rostlin) a půdě

- odběrný faktor (F_o): odběr těžkého kovu na jednotku plochy (g/ha) s výnosem nadzemní fytomasy
- dekontaminační faktor (F_d): poměr hmotnosti těžkého kovu ve sklizni a ve 20cm vrstvě půdy z jednotky plochy vyjádřený v %

Statistická analýza průkaznosti diferencí sledovaných parametrů mezi jednotlivými variantami pokusu byla provedena pomocí F -testu, po kterém následovalo stanovení minimální průkazné difference pro každý prvek a plodinu pomocí kritéria Duncan.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Srovnání výsledků agrochemických rozborů vzorků půdy z různých variant pokusu (tab. I) svědčí o tom, že vysoké stupňované dávky čistírenského kalu podstatně zkvalitnily výživné vlastnosti pokusné půdy, což vytvořilo příznivé podmínky pro pěstování energetických plodin. Zvýšila se zásoba rostlinami přijatelných živin

I. Agrochemické vlastnosti pokusné půdy před a po aplikaci čistírenského kalu – Agrochemical properties of trial soil before and after sewage sludge application

Varianta hnojení kaly ¹	Půdní reakce ²		Obsah přijatelných živin ³ (mg/kg) dle Mehlicha II				C_{tox} (%)	Humus (%)	N_{tot} (%)	Potřeba vápnění ⁴ CaO (q/ha)
	pH/KCl	pH/H ₂ O	P	K	Ca	Mg				
Kontrola ⁵	4,80	5,21	12,7	70,8	355	112	1,86	3,21	0,126	11,67
110 t/ha	5,74	6,19	32,0	65,6	1 544	220	3,79	6,54	0,215	5,21
220 t/ha	6,07	6,48	49,1	111,1	2 776	332	5,75	9,92	0,302	3,34

¹ treatment of sludge application, ² soil reaction, ³ content of available nutrient elements, ⁴ requirement of liming, ⁵ control

II. Obsah rizikových prvků v kalu a v pokusné půdě bez aplikace a po aplikaci kalu – Content of hazardous elements in sewage sludge and in soil without and with sludge application

Substrát, varianta pokusu, druh normy ¹	Celkový obsah rizikových prvků v sušině substrátu po mineralizaci lučavkou královskou ² (mg/kg)										
	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Zn	As	Hg	Cu	Mn	Fe
Kal ČOV ³	2,84	61,2	143	46,4	6,45	1 250	0,189	13,2	245	1 326	26 670
Limit suroviny pro komposty ⁴	13	500	1 000	200	–	3 000	50	10	1 200	–	–
Půda, kontrola ⁵	0,210	14,2	1,6	5,6	4,22	22	2,86	0,153	6,5	381	2 274
Půda, aplikace kalu ⁶ (110 t/ha)	0,470	23,5	14,6	9,0	6,78	150	6,38	1,425	27,4	558	4 450
Půda, aplikace kalu (220 t/ha)	0,730	31,7	29,5	13,7	7,50	254***	8,66	2,704	45,5	667	6 565
<i>MPD</i> _{0,05}	0,095	2,5	4,4	1,5	0,62	33	1,25	0,662	7,4	362	642
Maximálně přípustné** hodnoty v půdě ⁷	1,0	140	200	80	50	200	30	0,8	100	–	–

* nejvyšší přípustná koncentrace sledovaného prvku v mg/kg vysušeného vzorku suroviny pro výrobu průmyslových kompostů dle ČSN 46 5735 z roku 1991 – extreme allowable concentration of observed element in mg/kg dry sample of raw material for industrial composting in accordance with the Czech state norm ČSN 46 5735

** maximálně přípustná hodnota celkového obsahu příslušného rizikového prvku ve vzorku půdy odebraného ze 20 cm ornice a vysušeného na vzduchu (platí pro všechny zemědělské půdy kromě lehkých) dle vyhlášky MZP ČR č. 13/1996 Sb. – maximum allowable total content of respective hazardous elements in soil sample taken from 20 cm surface layer and air-dried (it is valid for all agricultural soils with the exception of light soils) in accordance with Edict No. 13/1996 issued by the Ministry of the Environment of CR

*** nadlimitní hodnota – above limit value

$MPD_{0,05}$ – minimálně přípustná difference obsahu prvku v půdě při hladině významnosti $\alpha = 0,05$ – $MAD_{0,05}$ – minimal admissible difference of element content in soil at a significance level $\alpha = 0,05$

¹ substrate, trial treatment, limit kind, ² total content of hazardous elements in dry substrate after mineralization with aqua regia, ³ sludge from sewage purification plant, ⁴ extreme allowable concentration in composting material, ⁵ soil, control without sludge, ⁶ soil, application of sludge, ⁷ maximum allowable total content in soil

a organických látek, dokonce se půdní reakce upravila ze silně na slabě kyselou.

Průměrné obsahy sledovaných rizikových prvků v půdě před a po aplikaci stupňovaných dávek čistírenského kalu a v samotném kalu jsou shrnuty v tab. II. U aplikovaného kalu byla limitní norma pro surovinu určenou pro přípravu průmyslových kompostů podle ČSN 46 5735 překročena jediné u Hg, a to zhruba o třetinu.

Aplikací stupňovaných dávek čistírenského kalu byly podstatně a statisticky průkazně zvýšeny obsahy všech sledovaných rizikových prvků v půdě, přičemž u Hg a Zn byly překročeny maximální přípustné hodnoty pro obsah těžkých kovů v zemědělských půdách. Výjimku představuje pouze obsah Mn, jehož zvýšení při aplikaci kalu není statisticky průkazné (příčinou je nízký obsah tohoto prvku v kalu). Nejvyšší nárůst obsahu v půdě po aplikaci kalu byl zjištěn u Hg a Cr (cca 9 až

18násobný), dále u Zn (7 až 12násobný) a Cu (4 až 7násobný).

Aplikace čistírenských kalů na jedné straně půdu kontaminovala těžkými kovy, současně ji však obohatila rostlinnými živinami, organickou hmotou a mírně alkalizovala půdní reakci, což způsobilo podstatný a statisticky průkazný nárůst výnosu suché nadzemní fytomasy jednotlivých plodin oproti kontrole (tab. III). Obsah jednotlivých základních živin v nadzemní fytomase se však podstatně neliší, navíc jsou rozdíly mezi jednotlivými variantami velice často statisticky neprůkazné. Doplnkové ošetření parcel s aplikací 220 t/ha kalu roztoky určenými pro zvýšení mobility těžkých kovů (var. IIA – roztok kyseliny; var. IIB – 0,02% roztok EDTA) podstatně snížilo výnosy všech plodin téměř na kontrolní úroveň a významně zasáhlo do čerpání základních živin. Tento fakt svědčí o úloze doplň-

III. Rozdíl ve výnosech nadzemní fytomasy jednotlivých plodin a v obsahu základních živin v rostlinách mezi různými variantami pokusu; průměr ze čtyř opakování za dva roky ($n = 8$) – Difference in aboveground phytomass yields of individual crops and in nutrient element contents in plants between various treatments; average of data from four repetitions and two years ($n = 8$)

Plodina ¹	Varianta pokusu ⁶	Výnos sušiny ⁹ (t/ha)	Celkový obsah základních živin sušiny fytomasy ¹⁰ (%)				
			N	P	K	Ca	Mg
Čirok ²	kontrola ⁷	5,81	2,25	0,514	1,96	0,594	0,147
	I	14,45	2,50	0,607	2,26	1,235	0,171
	II	16,70	2,65	0,661	2,56	1,450	0,195
	IIA	7,23	1,84	0,458	2,17	0,876	0,128
	IIB	9,12	1,96	0,522	3,25	0,938	0,131
	průměr ⁸	10,66	2,24	0,552	2,44	1,02	0,154
	MPD _{0,05}	0,78	0,28	0,076	0,36	0,164	0,023
Křídlatka ³	kontrola	17,35	2,70	0,460	0,73	1,220	0,186
	I	24,41	2,88	0,510	0,92	1,403	0,223
	II	29,52	2,86	0,607	1,07	1,032	0,221
	IIA	13,42	2,60	0,624	1,12	1,336	0,241
	IIB	16,84	2,55	0,572	1,44	1,488	0,296
	průměr	20,31	2,72	0,555	1,06	1,296	0,233
	MPD _{0,05}	0,62	0,22	0,069	0,24	0,156	0,020
Sléz ⁴	kontrola	7,20	4,33	0,569	4,01	0,493	0,136
	I	14,87	4,35	0,638	4,09	0,621	0,189
	II	21,71	4,30	0,654	4,19	0,661	0,203
	IIA	9,36	4,06	0,634	5,11	0,812	0,465
	IIB	11,72	4,12	0,649	4,87	0,754	0,387
	průměr	12,97	4,23	0,629	4,46	0,668	0,276
	MPD _{0,05}	0,74	0,24	0,072	0,50	0,133	0,015
Šťovík ⁵	kontrola	9,67	4,07	0,757	4,51	0,408	0,159
	I	17,84	4,11	0,796	3,82	0,777	0,182
	II	27,03	4,12	0,859	3,31	0,725	0,190
	IIA	12,56	4,21	0,866	3,54	0,944	0,243
	IIB	8,15	4,13	0,843	3,40	0,861	0,218
	průměr	15,05	4,13	0,824	3,72	0,743	0,198
	MPD _{0,05}	0,81	0,16	0,070	0,72	0,205	0,018

MPD_{0,05} – minimálně přípustná difference při hladině významnosti $\alpha = 0,05$ – MAD_{0,05} – minimal admissible difference at a significance level $\alpha = 0,05$

¹energy crop, ²sorghum, ³knotweed, ⁴mallow, ⁵dock, ⁶treatment, ⁷control, ⁸average, ⁹dry matter yield, ¹⁰total nutrient element contents of dry phytomass

kových aplikací na mobilitu a transfer jednotlivých prvků z půdy do rostlin a o jejich zásahu do výživy rostlin.

Výsledky uvedené v tab. IV jednoznačně demonstrují statisticky průkazné zvýšení obsahu všech rizikových prvků po aplikaci vysokých dávek čistírenského kalu ve sledovaných plodinách. Výjimku představují As a Co, jejichž nárůst po aplikaci kalu je velice často neprůkazný. Jak modelové okyselení půdy na pH 3,5, tak i ošetření roztokem EDTA v základní var. II s aplikací kalu v dávce 220 t/ha způsobilo u všech testovaných rostlin zvýšení obsahu jednotlivých rizikových prvků, což je v souladu se zjištěním řady dalších autorů (Herms, 1989; Cottenie, Kickens, 1981; Sauerbeck, 1989). Nejvyšší nárůst kontaminace rostlin rizikovými prvky (obr. 1 až 4) byl zaznamenán u Hg, a to u široko hyso až 12násobný, u slézu 18násobný, u štovíku 16násobný a u křídlatky dokonce až 30násobný.

Mezi dalšími prvky vysokým nárůstem koncentrace v rostlinách v jednotlivých variantách pokusů vynikají Zn, Cr a Cd. Nejnížší odezvu na hnojení kaly a ostatní zásahy měl As, což je očividně zapříčiněno jeho amfoterními vlastnostmi.

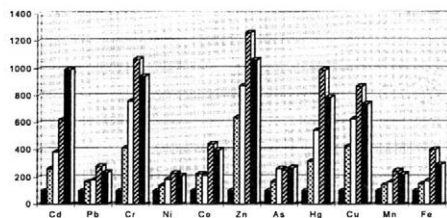
Nejvyšší hodnoty obsahu sledovaných prvků v průměru všech variant vykazuje široko hyso (Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Mn). Na druhém místě je štovík krmný (As, Cu, Fe). Křídlatka vyniká maximálním obsahem Hg a sléz obsahem Co. Hodnota transferfaktoru ve variantách kontaminovaných vysokými dávkami kalu (tab. V) je ve většině případů nižší než na kontrolních variantách. Difference hodnot transferfaktoru mezi jednotlivými variantami jsou na rozdíl od hodnot obsahu rizikových prvků v rostlinách většinou statisticky neprůkazné. Tento fakt znamená, že zvýšení obsahu jednotlivých prvků v rostlinách není zcela proporcionálním zvýše-

IV. Rozdíl v obsahu rizikových prvků v nadzemní fytomase jednotlivých plodin mezi různými variantami pokusu; průměr ze čtyř opakování za dva roky ($n = 8$) – Difference in hazardous element contents in aboveground phytomass of individual crops between various treatments; average of data from four repetition and two years ($n = 8$)

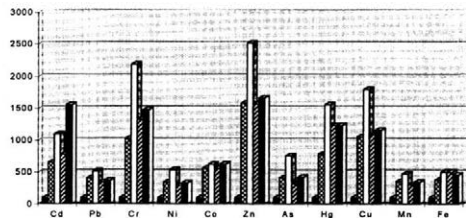
Plodina ¹	Varianta pokusu ⁶	Celkový obsah rizikových prvků v rostlinách ⁹ (mg/kg)										
		Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Zn	As	Hg	Cu	Mn	Fe
Čirok ²	kontrola ⁷	0,367	1,78	0,77	6,43	0,71	41	0,143	0,170	1,40	756	181
	I	0,956	2,92	3,18	8,89	1,60	261	0,236	0,533	5,91	1 087	274
	II	1,40	3,18	5,86	12,0	1,54	358	0,373	0,921	8,74	1 243	314
	IIA	2,28	4,96	8,22	14,7	3,16	516	0,358	1,681	12,1	1 864	725
	IIB	3,64	4,20	7,27	13,7	2,84	434	0,381	1,336	10,3	1 673	526
	průměr ⁸	1,73	3,41	5,06	11,1	1,97	322	0,298	0,928	7,70	1 324	404
	MPD _{0,05}	0,214	0,24	0,66	0,94	0,46	66	0,072	0,165	1,82	187	38
Křídlatka ³	kontrola	0,240	1,84	0,89	3,79	1,18	31	0,254	0,070	4,19	323	481
	I	0,564	2,21	1,93	3,58	1,75	49	0,357	0,623	5,18	1 064	313
	II	0,759	2,56	3,08	4,10	1,66	77	0,350	0,828	6,66	1 073	455
	IIA	0,996	4,72	5,39	7,12	2,87	132	0,346	2,060	12,7	1 684	884
	IIB	0,814	3,64	4,21	6,38	2,65	106	0,338	1,843	9,74	1 492	659
	průměr	0,675	2,99	3,10	4,99	2,02	79	0,329	1,085	7,69	1 127	558
	MPD _{0,05}	0,119	0,19	0,34	0,59	0,31	17	0,038	0,149	0,66	205	60
Sléz ⁴	kontrola	0,325	1,81	0,69	6,49	1,17	35	0,256	0,048	4,39	126	373
	I	0,774	2,79	1,94	7,40	1,62	87	0,310	0,545	6,91	352	366
	II	0,705	2,94	2,78	9,82	1,41	93	0,294	0,428	6,78	260	428
	IIA	1,45	4,38	6,46	13,3	2,83	246	0,343	0,928	11,6	637	929
	IIB	1,21	3,74	4,28	11,6	3,76	179	0,320	0,830	9,71	469	731
	průměr	0,893	3,13	3,23	9,73	2,16	128	0,305	0,556	7,88	369	565
	MPD _{0,05}	0,192	0,31	0,48	0,88	0,42	28	0,068	0,129	1,61	64	41
Štovík ⁵	kontrola	0,453	0,83	1,27	3,94	1,71	39	0,399	0,080	5,60	168	866
	I	0,609	1,15	1,90	4,42	1,24	81	0,435	0,456	7,18	326	1 059
	II	0,886	2,30	3,88	5,78	1,64	171	0,379	0,565	11,0	303	1 265
	IIA	1,43	4,37	7,16	11,6	3,12	336	0,387	1,283	18,6	586	1 946
	IIB	1,26	3,99	6,54	9,78	2,85	278	0,402	1,164	16,5	488	1 673
	průměr	0,927	2,53	4,15	7,10	2,11	181	0,400	0,710	11,8	377	1 362
	MPD _{0,05}	0,141	0,25	0,53	0,44	0,43	36	0,097	0,142	1,52	84	143

tučně jsou vyznačeny maximální průměrné hodnoty mezi jednotlivými plodinami – bold are maximal average values from all crops

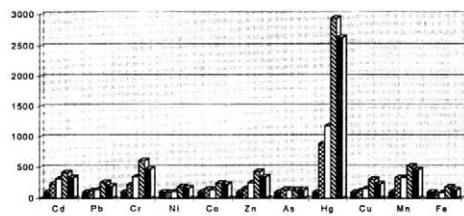
For 1–8 see Tab. III, ⁹total content of hazardous element in plant



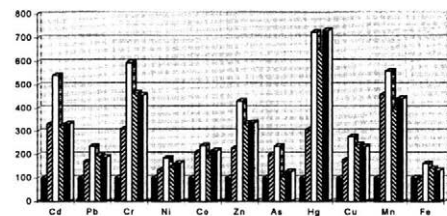
1. Relativní vyjádření nárůstu obsahu rizikových prvků v nadzemní fytomase čiroku v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element content increase in total above-ground phytomass of sorghum in different trial variants in comparison with control



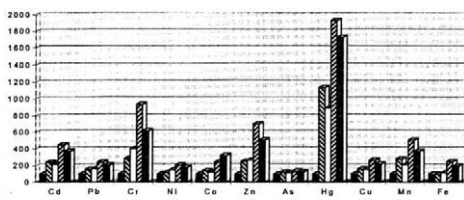
5. Relativní vyjádření nárůstu odběru rizikových prvků čirokem v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element uptake increase in sorghum in different trial variants in comparison with control



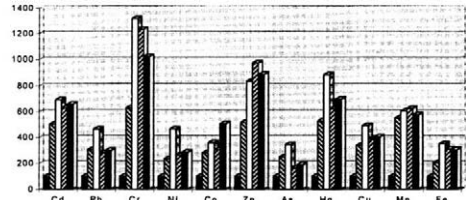
2. Relativní vyjádření nárůstu obsahu rizikových prvků v nadzemní fytomase křídlatky v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element content increase in total above-ground phytomass of knotweed in different trial variants in comparison with control



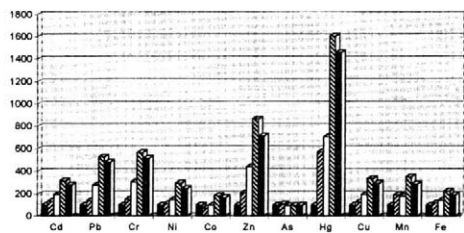
6. Relativní vyjádření nárůstu odběru rizikových prvků křídlatkou v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element uptake increase in knotweed in different trial variants in comparison with control



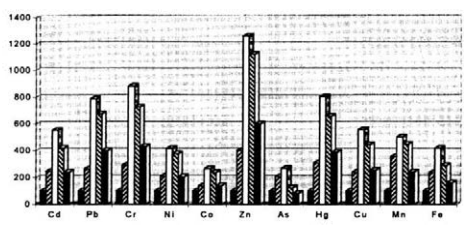
3. Relativní vyjádření nárůstu obsahu rizikových prvků v nadzemní fytomase slézu v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element content increase in total above-ground phytomass of mallow in different trial variants in comparison with control



7. Relativní vyjádření nárůstu odběru rizikových prvků slézem v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element uptake increase in mallow in different trial variants in comparison with control



4. Relativní vyjádření nárůstu obsahu rizikových prvků v nadzemní fytomase šťovíku v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element content increase in total above-ground phytomass of dock in different trial variants in comparison with control



8. Relativní vyjádření nárůstu odběru rizikových prvků šťovíkem v různých variantách pokusu oproti kontrole – Relative expression of hazardous element uptake increase in dock in different trial variants in comparison with control

Vysvětlivky k obr. 1 až 8 – Explanations to Figs 1 to 8:

osa y: obsah, resp. odběr prvku v % (kontrola = 100 %) – y axis: element content or uptake, resp., in % (control = 100%)
sloupce zleva – columns from left: kontrola – control, var. I, var. II, var. IIA, var. IIB

V. Rozdíl v hodnotách transferfaktoru jednotlivých plodin mezi různými variantami pokusu; průměr ze čtyř opakování za dva roky ($n = 8$) – Difference in transferfactor values of individual crops between various treatments; average of data from four repetitions and two years ($n = 8$)

Plodina ¹	Varianta pokusu ⁶	Transferfaktor ⁹										
		Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Zn	As	Hg	Cu	Mn	Fe
Čirok ²	kontrola ⁷	1,75	0,126	0,476	1,148	0,169	1,907	0,050	1,111	0,216	1,985	0,079
	I	2,03	0,124	0,218	0,985	0,236	1,743	0,037	0,374	0,216	1,949	0,062
	II	1,92	0,101	0,199	0,870	0,205	1,410	0,043	0,341	0,192	1,863	0,048
	IIA	3,12	0,157	0,279	1,07	0,421	2,03	0,041	0,622	0,267	2,79	0,110
	IIB	4,99	0,133	0,246	0,994	0,379	1,71	0,044	0,494	0,227	2,51	0,080
	průměr ⁸	2,76	0,128	0,284	1,01	0,282	1,76	0,043	0,588	0,223	2,22	0,076
	MPD _{0,05}	0,72	0,022	0,064	0,154	0,051	0,139	0,011	0,088	0,074	0,106	0,031
Křídlatka ³	kontrola	1,14	0,129	0,548	0,678	0,279	1,419	0,089	0,458	0,646	0,847	0,211
	I	1,20	0,094	0,132	0,396	0,259	0,330	0,056	0,437	0,189	1,908	0,070
	II	1,04	0,081	0,104	0,298	0,221	0,304	0,040	0,306	0,146	1,608	0,069
	IIA	1,36	0,149	0,183	0,518	0,383	0,520	0,040	0,762	0,279	2,52	0,135
	IIB	1,12	0,115	0,143	0,465	0,353	0,417	0,039	0,682	0,214	2,24	0,100
	průměr	1,17	0,114	0,22	0,471	0,299	0,598	0,053	0,529	0,295	1,82	0,117
	MPD _{0,05}	0,25	0,018	0,025	0,138	0,047	0,152	0,019	0,103	0,096	0,162	0,022
Sléz ⁴	kontrola	1,55	0,128	0,426	1,159	0,278	1,629	0,090	0,314	0,678	0,330	0,164
	I	1,65	0,119	0,133	0,820	0,240	0,581	0,049	0,382	0,252	0,631	0,082
	II	0,97	0,093	0,094	0,715	0,188	0,366	0,034	0,158	0,149	0,390	0,065
	IIA	1,99	0,138	0,219	0,970	0,377	0,969	0,040	0,343	0,255	0,955	0,142
	IIB	1,66	0,118	0,145	0,845	0,501	0,705	0,037	0,307	0,213	0,703	0,111
	průměr	1,56	0,119	0,204	0,902	0,317	0,850	0,050	0,301	0,309	0,602	0,113
	MPD _{0,05}	0,38	0,012	0,028	0,163	0,069	0,183	0,008	0,066	0,098	0,085	0,012
Šťovík ⁵	kontrola	2,16	0,059	0,785	0,703	0,405	1,811	0,140	0,523	0,864	0,442	0,381
	I	1,30	0,049	0,130	0,489	0,183	0,539	0,068	0,320	0,262	0,585	0,238
	II	1,21	0,073	0,131	0,421	0,219	0,672	0,044	0,209	0,241	0,455	0,193
	IIA	1,95	0,138	0,243	0,845	0,416	1,32	0,045	0,474	0,410	0,878	0,296
	IIB	1,73	0,126	0,222	0,712	0,380	1,09	0,046	0,430	0,362	0,731	0,255
	průměr	1,67	0,089	0,302	0,634	0,321	1,09	0,069	0,391	0,428	0,618	0,273
	MPD _{0,05}	0,53	0,029	0,097	0,118	0,073	0,208	0,025	0,114	0,147	0,140	0,094

tučně jsou vyznačeny maximální průměrné hodnoty mezi jednotlivými plodinami – bold are maximal average values from all crops

For 1–8 see Tab. III, ⁹transferfactor

ním jejich obsahu v půdě, což je v souladu se zjištěními ostatních autorů (Sauerbeck, Lübbers, 1991). Při srovnání hodnot transferfaktoru různých podtypů var. II zcela jednoznačně pozorujeme zvýšení transferu rizikových prvků z půdy do rostlin při aplikaci doplňkových mobilizačních prostředků (var. IIA a IIB). Mezi jednotlivými plodinami nejvyššími hodnotami transferfaktoru sledovaných prvků v průměru všech variant vyniká čirok hyso (u Cd, Pb, Ni, Zn, Hg, Mn) a šťovík krmný (u Cr, Co, As, Cu, Fe).

O možnosti uplatnění rostlin při dekontaminaci půd nejvíce vypovídá odběrový faktor, který je násobkem výnosu plodiny a obsahu rizikových prvků (obr. 5 až 8), a dekontaminační faktor, který odráží procentuální podíl odběru prvku rostlinou oproti jeho celkové zásobě v půdě na jednotce plochy (tab. VI).

Na obr. 5 až 8 je znázorněn pro každou plodinu zvlášť odběrový faktor odvozený od kontroly (100%)

a již na první pohled je patrný jeho nárůst u všech prvků při zvýšení kontaminace půdy v důsledku aplikace vysokých dávek kalu, což je v souladu se stanoveným dekontaminačním faktorem (tab. VI). Doplňkové zásahy nasměrované na zvýšení mobility rizikových prvků neúčinkují na odběrový faktor jednoznačně. Nejvyšší hodnoty odběrového faktoru obvykle vykazovala základní var. II, kdežto doplňkové zásahy (var. IIA a IIB) měly za následek zhruba stejný a často i nižší nárůst odběru rizikových prvků bez ohledu na jednoznačně nejvyšší koncentrace jednotlivých prvků ve fytomase v těchto variantách. Je to zapříčiněno snížením celkového výnosu nadzemní fytomasy v důsledku intoxikace rostlin při vysoké kumulaci rizikových prvků a současně zhoršení výživy rostlin při realizaci mobilizačních zásahů.

Mezi jednotlivými plodinami nejvyšší hodnoty odběrového a dekontaminačního faktoru sledovaných prvků v průměru všech variant má především křídlatka

VI. Rozdíl v hodnotách dekontaminačního faktoru jednotlivých plodin mezi různými variantami pokusu; průměr ze čtyř opakování za dva roky ($n = 8$) – Difference in decontamination factor values of individual crops between various treatments; average of data from four repetitions and two years ($n = 8$)

Plodina ¹	Varianta pokusu ⁶	Dekontaminační faktor ⁹ (%)										
		Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Zn	As	Hg	Cu	Mn	Fe
Čirok ²	kontrola ⁷	0,339	0,024	0,093	0,223	0,033	0,370	0,010	0,215	0,042	0,383	0,016
	I	0,980	0,060	0,104	0,475	0,114	0,843	0,018	0,180	0,104	0,942	0,030
	II	1,067	0,056	0,111	0,485	0,115	0,788	0,024	0,190	0,107	1,040	0,027
	IIA	0,753	0,038	0,067	0,259	0,102	0,490	0,010	0,150	0,064	0,673	0,027
	IIB	1,52	0,040	0,075	0,302	0,115	0,519	0,013	0,150	0,069	0,762	0,024
	průměr ⁸	0,931	0,044	0,090	0,348	0,095	0,601	0,015	0,177	0,077	0,759	0,025
	MPD _{0,05}	0,184	0,005	0,021	0,074	0,035	0,114	0,010	0,062	0,035	0,052	0,012
Křídlatka ³	kontrola	0,655	0,076	0,320	0,393	0,162	0,819	0,052	0,926	0,361	0,497	0,124
	I	0,968	0,078	0,110	0,324	0,211	0,267	0,046	0,305	0,151	1,557	0,058
	II	1,029	0,080	0,104	0,295	0,218	0,299	0,040	0,379	0,142	1,588	0,069
	IIA	0,610	0,067	0,082	0,232	0,171	0,232	0,018	0,341	0,125	1,129	0,060
	IIB	0,626	0,064	0,080	0,261	0,198	0,234	0,022	0,383	0,120	1,255	0,056
	průměr	0,776	0,073	0,139	0,301	0,192	0,370	0,036	0,467	0,180	1,205	0,073
	MPD _{0,05}	0,155	0,012	0,034	0,067	0,037	0,148	0,018	0,088	0,076	0,083	0,037
Sléz ⁴	kontrola	0,342	0,034	0,101	0,283	0,069	0,367	0,023	0,303	0,144	0,083	0,041
	I	0,770	0,063	0,070	0,414	0,121	0,273	0,026	0,172	0,116	0,315	0,043
	II	0,682	0,071	0,073	0,539	0,139	0,259	0,026	0,152	0,101	0,289	0,050
	IIA	0,620	0,043	0,068	0,303	0,118	0,302	0,012	0,107	0,080	0,298	0,044
	IIB	0,649	0,046	0,057	0,330	0,196	0,275	0,014	0,120	0,083	0,275	0,043
	průměr	0,612	0,052	0,074	0,374	0,128	0,295	0,020	0,171	0,105	0,252	0,044
	MPD _{0,05}	0,110	0,007	0,020	0,105	0,043	0,100	0,011	0,066	0,079	0,065	0,013
Šťovík ⁵	kontrola	0,683	0,019	0,254	0,230	0,131	0,584	0,045	0,533	0,272	0,144	0,124
	I	0,751	0,030	0,082	0,300	0,112	0,336	0,042	0,176	0,153	0,350	0,149
	II	1,084	0,067	0,123	0,390	0,195	0,622	0,040	0,242	0,215	0,412	0,179
	IIA	0,818	0,058	0,102	0,354	0,174	0,554	0,019	0,199	0,171	0,368	0,124
	IIB	0,470	0,034	0,060	0,193	0,103	0,297	0,013	0,117	0,098	0,199	0,069
	průměr	0,761	0,042	0,124	0,293	0,143	0,479	0,032	0,253	0,182	0,294	0,129
	MPD _{0,05}	0,062	0,006	0,011	0,072	0,030	0,128	0,004	0,026	0,047	0,037	0,024

tučně jsou vyznačeny maximální průměrné hodnoty mezi jednotlivými plodinami – bold are maximal average values from all crops

For 1–8 see Tab. III, ⁹decontamination factor

(maximální hodnoty u Pb, Cr, Co, As, Hg, Mn), což je způsobeno výrazně vyššími výnosy fyto-masy oproti ostatním plodinám. Čirok hyso vykazuje nejvyšší dekontaminaci u Cd a Zn, šťovík u Cu a Fe, sléz u Ni. Odnos sledovaných rizikových prvků sklizněmi testovaných energetických rostlin mnohonásobně převyšuje průměrný odnos těchto prvků plodinami běžného osevního postupu, které uvádí Beneš (1994). V pokusných variantách byly testovány energetické rostliny s vysokým výnosem fyto-masy a s transferfaktory několikanásobně vyššími než u konvenčních plodin. I přes tyto vlastnosti byly testované plodiny maximálně schopny zabezpečit odběr pouze 1,6 % celkového obsahu rizikového prvku v půdě. Při těchto parametrech by však úplná dekontaminace trvala několik desetiletí. Jediným východiskem může být umělé zvýšení schopnosti příjmu těžkých kovů u uvedených druhů rostlin šlechtěním s využitím genového inženýrství. Při možnosti zužitkování fytopaliva lze doporučit používání kontaminova-

ných půd pro pěstování energetických plodin během delšího časového období, čímž bude docíleno jejich postupné dekontaminace.

LITERATURA

- BENEŠ, S.: Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část II. MZe ČR 1994.
- BÍLEK, J.: Dekontaminace půdy rostlinami. Úroda, 1, 1998: 14.
- COTTENIE, A. – KIEKENS, L.: Beweglichkeit von Schwermetallen in mit Schlamm angereicherten Böden. Koresp. Abwas., 28, 1981: 506–211.
- DIETZ, T. – KRAUSS, M.: Odčerpávání těžkých kovů z kontaminovaných ploch pomocí rostlin. In: Sbor. Těžké kovy v zemědělské půdě a rostlinách, Praha 1995: 41–43.
- HAASE, E.: Pflanzen reinigen Schwermetall-Böden. Umwelt, 1988 (7–8): 342–344.

HERMS, U.: Löslichkeit von Schwermetallen in Böden unter variierender Milieubedingungen: In: BEHRENS, D. – WIESNER, J.: Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden. Frankfurt/M, DECHEMA 1989: 189–199.

METZ, R. – WILKE, B. M.: Dekontamination von Schwermetallbelasteten Rieselfeldböden durch Anbau von Energiepflanzen am Beispiel des Elements Cadmium. VDLUFA 1992.

METZ, R. – WILKE, B. M.: Sachalinknöterich (*Polygonum oder Reynoutria sachalinense*) eine alternative Pflanze zur Dekontamination von schwermetallbelasteten Rieselfeldern? VDLUFA 1994.

SAUERBECK, D.: Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. In: BEHRENS, D. – WIESNER, J.: Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden. Frankfurt/M, DECHEMA 1989: 281–316.

SAUERBECK, D. – LÜBBEN, S.: Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. Band 6. Jülich, Forschungszentr. GmbH 1991. 417 s.

SCHALLER, A. – DIETZ, T.: Pflanzenspezifische Aspekte der Schwermetallaufnahme für Lebens- und Futtermittel. In: Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. Ber. Ökol. Forsch., 6, 1991: 92–125.

SCHWEDER, P. – KRAWIELITZKI, H. – SARICH, W.: Der Versuch einer Cadmium-Dekontaminierung eines Bodens mit Sachalin-Knöterich. VDLUFA 1994.

VÁŇA, J.: Dekontaminace těžkých kovů z půdy rostlinami. In: Sbor. Cizorodé látky v zemědělských ekosystémech, Praha 1997: 86–91.

VÁŇA, J. – USTÁK, S.: Transfer těžkých kovů z půdy do energetických rostlin. In: Sbor. Těžké kovy v zemědělské půdě a rostlinách, Praha 1995: 52–55.

WATANABE, M.: Phytoremediation on the brink of commercialization. Envir. Sci. Technol., 31, 1997 (4): 182–186.

ČSN 46 5735. Průmyslové komposty. 1991.

Došlo 18. 2. 1998

Kontaktní adresa:

Ing. Sergej Usták, CSc., Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně, Oddělení ekotoxikologie, Černovická 4987, 430 01 Chomutov, Česká republika, tel.: 0396/271 97, fax: 0396/270 90, e-mail: ecotoxicology@cv.bohem-net.cz

SBORNÍK Z MEZINÁRODNÍ KONFERENCE *ODPADY PRAHA '97*

PROCEEDINGS FROM AN INTERNATIONAL CONFERENCE *WASTES PRAGUE '97*

Mezinárodní konference *Odpady Praha '97*, kterou uspořádal Svaz odpadového průmyslu, jako člen ISWA, se konala v Praze ve dnech 10. až 12. června 1997. Jednání konference probíhalo v pěti odborných sekcích (globální strategie v odpadech, termická likvidace odpadů, fyzikálně technické zpracování odpadů, recyklace průmyslových odpadů, skládkování průmyslových odpadů). Delegáti ze čtyř zemí světa přednesli na konferenci řadu velmi prioritních referátů, které byly vydány ve sborníku. Nové požadavky, kladené v oblasti globální strategie odpadů na jejich termické likvidace, fyzikálně chemické zpracování, resp. recyklaci a skládkování, se neobejdou bez teoreticky zdůvodněných výsledků vědecko-výzkumných prací a spolupráce vysoce odborných pracovníků. K tomuto záměru do dalšího období konference jistě přispěla. Kopie přednesených příspěvků lze získat na uvedených adresách jednotlivých přednášejících.

An international conference *Wastes Prague '97* was organized by the Waste Industry Union, an ISWA member, and it was held in Prague from 10th to 12th June 1997. Discussions took place in five specialized sections (waste global strategy, thermic disposal of wastes, physical and chemical treatment of wastes, recycling of industrial wastes, disposal of industrial wastes at dumping sites). Delegates from four countries of the whole world presented reports of priority importance that were published in proceedings of the conference. New demands in the field of waste global strategy for their thermic disposals, physical and chemical treatment, recycling and disposal at dumping sites will require theoretically well-founded results of scientific research activities and cooperation of highly professional institutions. The conference was a contribution in this sense for the future period. Copies of the reports presented to the conference are available at the delegates' addresses.

R. Reid (County Environmental Services Ltd United Dawns, Stday, Redruth, Cornwall TR 16 5 HU, UK): Disposal of industrial wastes

V. Lapčík (Vysoká škola báňská, Technická univerzita, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR): Constructions in the field of waste management and their assessment according to Act No. 244/1992 Coll.

P. Kočíková (Ekologický servis, Hájecká 12-14, 100 00 Praha 10, ČR): 5th action program, IPPC and the new European Union strategy in waste handling

B. Beneš (Ekologické poradenství, Černokostecká 62, 100 00 Praha 10, ČR): Convergence of the waste management in the Czech Republic with European Union

V. Havráňková (Český ekologický ústav, MŽP Vršovická 65, 110 00 Praha 10, ČR): Informational support of the branch by the scientific information

J. Hettler (Ústav chemických procesů AV ČR, Národní tř., 110 00 Praha 1, ČR): Waste with PCB – principles of disposal

P. Bezucha, R. Drbohlav, J. Šolc (Výzkumný ústav anorganické chemie, Revoluční 84, 400 00 Ústí nad Labem, ČR): Thermal hydrolysis of chlorofluorocarbons

H. Schmidt, T. Christensen (Haldor Topsoe A/S Nymollevej 55, DK-2806 Lyngby): Haldor topsoe – clean air

G. Härtel (TU Bergakademie, Leipzigerstrasse 28, 095 96 Freiberg, BRD): Principles of waste treatment

T. Šákra (Katedra ochrany životního prostředí, Univerzita Pardubice, Náměstí čs. legií 565, 532 10 Pardubice, ČR): Review of the physico-chemical methods of processing of the industrial waste in the Czech Republic

F. Straka, J. Stritzko, M. Musilová (Ústav pro výzkum a využití paliv Běchovice, 190 11 Praha 9, ČR): Destruction of the PCB-type compounds in waste co-processed in the process of pressure gasification of coal

M. Červenka (DIAMO, s. p., o. z., GEAM, 592 51 Dolní Rožinka, ČR): Detoxication of metals containing waste

J. Prokop (Kovohutě, a. s., 261 01 Příbram, ČR): Lead-containing waste processing in the Czech Republic

K. Kolomazník, K. Mládek, M. Langmaier (Vysoké učení technické, Technologická fakulta, náměstí TGM 275, 762 72 Zlín, ČR): Processing of chromium and protein from chromium-tanned tannery waste

Z. Kepřlík (ČEZ, a. s., Elektrárna Mělník, 276 01 Mělník, ČR): Utilisation of fly ash solidificate for restoration of an ash deposit site and some next applications

J. Kizling (Vysoké učení technické, Veslařská 230, 637 00 Brno): Procedures of disposal of risky chemicals and wastes from laboratories

W. Karras (Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH, Frankfurterstrasse 720-726, 511 45 Köln, BRD): Recycling of plastic packaging by the DKR

P. Hajtmár (SAKO Brno, a. s., Jedovnická 2, 628 00 Brno, ČR): Recycling of heterogeneous plastics to heat energy

V. Veselý, M. Slánský, P. Zíkl (Ruchstav, s. r. o., 792 01 Bruntál, ČR): A way of utilisation of aluminium cinder from aluminium production and processing

P. Peták (USU Praha, s. r. o., Štěpánská 15, 110 00 Praha 1, ČR): System of waste oils collection and recycling

J. Tauc (Svaz průmyslu papíru a celulózy Praha, K Hrušovu 4, 102 23 Praha 10, ČR): Recycled pulp of the DIP type

R. Sameš (Hydroprojekt, a. s., Tábořská 31, 140 43 Praha 4, ČR): The recent development in industrial waste deposition on landfills

L. Žitný jr. (Ekohydrogeo, Želivského 8, 130 00 Praha 3, ČR): Disposal of waste produced at restoration works in industry

J. Jílek (Ekotechnik-inženýring, Panírkovské 1592, 140 00 Praha 4, ČR): Underground waste deposition – prospects and possibilities

Ing. Zdena Wittlingerová, CSc.

Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika

**Nejčerstvější informace o časopiseckých článcích
poskytuje automatizovaný systém**

Current Contents

na disketách

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna odebírá časopis „**Current Contents**“ řadu „**Agriculture, Biology and Environmental Sciences**“ a řadu „**Life Sciences**“ na disketách. Řada „Agriculture, Biology and Environmental Sciences“ je od roku 1994 k dispozici i s abstrakty. Obě tyto řady vycházejí 52krát ročně a zahrnují všechny významné časopisy a pokračovací sborníky z uvedených oborů.

Uložení informací z Current Contents na disketách umožňuje nejrozmanitější referenční služby z prakticky nejčerstvějších literárních pramenů, neboť báze dat je **doplňována každý týden** a neprodleně expedována odběratelům. V systému si lze nejen prohlížet jednotlivá čísla Current Contents, ale po přesném nadefinování sledovaného profilu je možné adresně vyhledávat informace, tisknout je nebo kopírovat na disketu s možností dalšího zpracování na vlastním počítači. Systém umožňuje i tisk žádanek o separát apod. Kumulované vyhledávání v šesti číslech Current Contents najednou velice urychluje rešeršní práci.

Přístup k informacím Current Contents je umožněn dvojím způsobem:

- 1) Zakázkový přístup** – po vyplnění příslušného zakázkového listu (objednávky) je vhodný především pro mimopražské zájemce.

Finanční podmínky: – použití PC – 15 Kč za každou započatou půlhodinu

– odborná obsluha – 10 Kč za 10 minut práce

– vytištění rešerše – 1 Kč za 1 stranu A4

– žádanky o separát – 1 Kč za 1 kus

– poštovné + režijní poplatek 15 %

- 2) „Self-service“** – samoobslužná práce na osobním počítači v ÚZLK.

Finanční podmínky jsou obdobné. Vzhledem k tomu, že si uživatel zpracovává rešerši sám, je to maximálně úsporné. (Do kalkulace cen nezapočítáváme cenu programu a databáze Current Contents.)

V případě Vašeho zájmu o tyto služby se obraťte na adresu:

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna

Dr. Bartošová

Slezská 7

120 56 Praha 2

Tel.: 02/24 25 79 39, l. 520, fax: 02/24 25 39 38

Na této adrese obdržíte bližší informace a získáte formuláře pro objednávku zakázkové služby. V případě „self-servisu“ je vhodné se předem telefonicky objednat. V případě zájmu je možné si objednat i průběžné sledování profilu (cena se podle složitosti zadání pohybuje čtvrtletně kolem 100 až 150 Kč).

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna (ÚZLK)

Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38

Máte zájem o pravidelné sledování nejčerstvějších informací ze zahraničních odborných časopisů?

Tento požadavek Vám rádi splníme, objednáte-li si naši informační reprografickou službu „Obsahy zahraničních časopisů“ a články typu „Current Contents“.

Vyberete-li si z každoročně aktualizovaného **Seznamu časopisů objednaných do fondu ÚZLK** sledování nejzajímavějších časopisů z Vašeho oboru, zašleme Vám nejprve kopie obsahů nejčerstvějších čísel časopisů a na základě výběru kopie požadovaných článků.

Chtěli bychom Vás také upozornit na další reprografickou službu ÚZLK, a to na poskytování kopií článků z knih a časopisů, které jsou ve fondu ÚZLK. Požadavky na tyto kopie můžete uplatňovat v průběhu celého roku na formulářích „Objednávka reprografické práce“, které si můžete objednat v Technickém ústředí knihoven, Solniční 12, 601 74 Brno, pod katalog. č. TÚK 138-0.

Veškeré další informace a objednávky na reprografické služby včetně Vašich připomínek Vám poskytneme na adrese:

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna – ÚZPI

Odd. reproslužeb

Slezská 7, 120 56 Praha 2

Poštovní schránka 39

Telefonické dotazy: 02/24 25 79 39, linka 329, 421 nebo 306

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Original scientific papers, short communications, and selectively reviews, that means papers based on the study of technical literature and reviewing recent knowledge in the given field, are published in this journal. Published papers are in Czech, Slovak or English. Each manuscript must contain a short and a longer summary (including the key words).

The author is fully responsible for the originality of his paper, for its subject and formal correctness. The author shall make a written declaration that his paper has not been published in any other information source.

The board of editors of this journal will decide on paper publication, with respect to expert opinions, scientific importance, contribution and quality of the paper.

The paper extent shall not exceed 15 typescript pages, including tables, figures and graphs.

Manuscript layout shall correspond to the State Standard ČSN 88 0220 (quarto, 30 lines per page, 60 strokes per line, double-spaced typescript). A PC diskette should be provided with the paper, written in an editor program, preferably T602, and with graphical documentation. Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes.

The **title** of the paper shall not exceed 85 strokes. Subtitles of the papers are not allowed either.

Abstract is an information selection of the contents and conclusions of the paper, it is not a mere description of the paper. It must present all substantial information contained in the paper. It shall not exceed 170 words. It shall be written in full sentences, not in form of keynotes, and comprise base numerical data including statistical data. It must contain key words. It should be submitted in English and if possible also in Czech or Slovak.

Introduction has to present the main reasons why the study was conducted, and the circumstances of the studied problems should be described in a very brief form.

Review of literature should be a short section, containing only literary citations with close relation to the treated problem.

Only original method shall be described, in other cases it is sufficient enough to cite the author of the used method and to mention modifications of this method. This section shall also contain a description of experimental material.

In the section **Results** figures and graphs should be used rather than tables for presentation of quantitative values. A statistical analysis of recorded values should be summarized in tables. This section should not contain either theoretical conclusions or deductions, but only factual data should be presented here.

Discussion contains an evaluation of the study, potential shortcomings are discussed, and the results of the study are confronted with previously published results (only those authors whose studies are in closer relation with the published paper should be cited). The sections Results and Discussion may be presented as one section only.

The citations are arranged alphabetically according to the surname of the first author. References in the text to these citations comprise the author's name and year of publication. Only the papers cited in the text of the study shall be included in the list of references. All citations shall be referred to in the text of the paper.

If any abbreviation is used in the paper, it is necessary to mention its full form at least once to avoid misunderstanding. The abbreviations should not be used in the title of the paper nor in the summary.

The author shall give his full name (and the names of other collaborators), academic, scientific and pedagogic titles, full address of his workplace and postal code, telefon and fax number or e-mail.

POKYNY PRO AUTORY

Časopis uveřejňuje původní vědecké práce, krátká sdělení a výběrově i přehledné referáty, tzn. práce, jejichž podkladem je studium literatury a které shrnují nejnovější poznatky v dané oblasti. Práce jsou uveřejňovány v češtině, slovenštině nebo angličtině. Rukopisy musí být doplněny krátkým a rozšířeným souhrnem (včetně klíčových slov).

Autor je plně odpovědný za původnost práce a za její věcnou i formální správnost. K práci musí být přiloženo prohlášení autora o tom, že práce nebyla publikována jinde.

O uveřejnění práce rozhoduje redakční rada časopisu, a to se zřetelem k lektorským posudkům, vědeckému významu a přínosu a kvalitě práce.

Rozsah vědeckých prací nemá přesáhnout 15 stran psaných na stroji včetně tabulek, obrázků a grafů. V práci je nutné používat jednotky odpovídající soustavě měrových jednotek SI (ČSN 01 1300).

Vlastní úprava rukopisu má odpovídat státní normě ČSN 88 0220 (formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhozů na řádku, mezi řádky dvojité mezery), k rukopisu je vhodné přiložit disketu s prací pořízenou na PC v některém textovém editoru, nejlépe v T602, a s grafickou dokumentací. Tabulky, grafy a fotografie se dodávají zvlášť, nepodlepují se. Na všechny přílohy musí být odkazy v textu.

Pokud autor používá v práci zkratky jakéhokoliv druhu, je nutné, aby byly alespoň jednou vysvětleny (vypsány), aby se předešlo omylům. V názvu práce a v souhrnu je vhodné zkratky nepoužívat.

Název práce (titul) nemá přesáhnout 85 úhozů. Jsou vyloučeny podtitulky článků.

Krátký souhrn (Abstrakt) je informačním výběrem obsahu a závěru článku, nikoliv však jeho pouhým popisem. Musí vyjádřit všechno podstatné, co je obsaženo ve vědecké práci, a má obsahovat základní číselné údaje včetně statistických hodnot. Musí obsahovat klíčová slova. Nemá překročit rozsah 170 slov. Je třeba, aby byl napsán celými větami, nikoliv heslovitě. Je uveřejňován a měl by být dodán ve stejném jazyce jako vědecká práce.

Rozšířený souhrn (Abstract) je uveřejňován v angličtině, měly by v něm být v rozsahu cca 1–2 strojopisných stran komentovány výsledky práce a uvedeny odkazy na tabulky a obrázky, popř. na nejdůležitější literární citace. Je vhodné jej (včetně názvu práce a klíčových slov) dodat v angličtině, popř. v češtině či slovenštině jako podklad pro překlad do angličtiny.

Úvod má obsahovat hlavní důvody, proč byla práce realizována a velmi stručnou formou má být popsán stav studované otázky.

Literární přehled má být krátký, je třeba uvádět pouze citace mající úzký vztah k problému.

Metoda se popisuje pouze tehdy, je-li původní, jinak postačuje citovat autora metody a uvádět jen případné odchylky. Ve stejné kapitole se popisuje také pokusný materiál.

Výsledky – při jejich popisu se k vyjádření kvantitativních hodnot dává přednost grafům před tabulkami. V tabulkách je třeba shrnout statistické hodnocení naměřených hodnot. Tato část by neměla obsahovat teoretické závěry ani dedukce, ale pouze faktické nálezy.

Diskuse obsahuje zhodnocení práce, diskutuje se o možných nedostatcích a práce se konfrontuje s výsledky dříve publikovanými (požaduje se citovat jen ty autory, jejichž práce mají k publikované práci bližší vztah). Je přípustné spojení v jednu kapitolu spolu s výsledky.

Literatura musí odpovídat státní normě ČSN 01 0197. Citace se řadí abecedně podle jména prvních autorů. Odkazy na literaturu v textu uvádějí jméno autora a rok vydání. Do seznamu se zařadí jen práce citované v textu. Na práce v seznamu literatury musí být odkaz v textu.

Na zvláštním listě uvádí autor plné jméno (i spoluautorů), akademické, vědecké a pedagogické tituly a podrobnou adresu pracoviště s PSČ, číslo telefonu a faxu, popř. e-mail.

CONTENTS

Králová M., Růžek P.: Denitrification in orthic Luvisols with a restricted tillage	437
Zbiral J., Němec P.: Comparison of some methods for determination of copper, zinc, manganese and iron in soils	443
Balík J., Tlustoš P., Száková J., Pavlíková D., Balíková M., Blahník R.: Variations of cadmium content in plants after sewage sludge application	449
Balík J., Tlustoš P., Pavlíková D., Száková J., Blahník R., Kaewrahn S.: The effect of sewage sludge on zinc content in soil and plants	457
Tlustoš P., Pavlíková D., Balík J., Száková J., Hanč A., Balíková M.: The accumulation of arsenic and cadmium in plants and their distribution	463
Trávník K., Vaněk V., Němeček R., Petrášek K.: The effect of long-term fertilizing and liming on soil pH and crop yields	471
Ustak S., Váňa J.: Hazardous element transfer from contaminated soils to selected energy plants	477

REVIEW

Wittlingerová Z.: Proceedings from an international conference <i>Wastes Prague '97</i>	486
---	-----

ROSTLINNÁ VÝROBA**OBSAH**

Králová M., Růžek P.: Denitrifikace v hnědozemi v podmínkách omezeného zpracování půdy	437
Zbiral J., Němec P.: Porovnání některých metod pro stanovení mědi, zinku, manganu a železa v půdách	443
Balík J., Tlustoš P., Száková J., Pavlíková D., Balíková M., Blahník R.: Změny obsahu kadmia v rostlinách po aplikaci čistírenských kalů	449
Balík J., Tlustoš P., Pavlíková D., Száková J., Blahník R., Kaewrahn S.: Vliv čistírenských kalů na obsah zinku v půdě a rostlinách	457
Tlustoš P., Pavlíková D., Balík J., Száková J., Hanč A., Balíková M.: Příjem a distribuce arzenu a kadmia rostlinami	463
Trávník K., Vaněk V., Němeček R., Petrášek K.: Vliv dlouhodobého hnojení a vápnění na pH půdy a výnosy plodin	471
Ustak S., Váňa J.: Transfer rizikových prvků z kontaminované půdy do vybraných energetických rostlin	477

Z VĚDECKÉHO ŽIVOTA

Petr J.: Nedožitých sto let prof. Ing. Dr. Emila Kunze, DrSc.	470
--	-----

RECENZE

Wittlingerová Z.: Sborník z mezinárodní konference <i>Odpady Praha '97</i>	486
--	-----

Vědecký časopis ROSTLINNÁ VÝROBA ● Vydává Česká akademie zemědělských věd – Ústav zemědělských a potravinářských informací ● Redakce: Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38 ● Sazba: Studio DOMINO – Ing. Jakub Černý, Bří Nejedlých 245, 266 01 Beroun, tel.: 0311/22 959 ● Tisk: ÚZPI Praha ● © Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 1998