SIMPLE CADMIUM AND LEAD BALANCE IN SOILS UNDER SEWAGE SLUDGE TREATMENT

BILANCE KADMIA A OLOVA PO HNOJENÍ PŮD ČISTÍRENSKÝMI KALY

Čásová K., Černý J., Tlustoš P., Száková J., Balík J.

Katedra agrochemie a výživy rostlin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, , Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol,

E-mail: casova@af.czu.cz, tlustos@af.czu.cz

ABSTRACT

Sewage sludge use in agriculture is beneficial in terms of nutrients and organic matter recycling. However, it can lead to accumulation of heavy metals (HM) in soils. The aim of the study was to assess the risk of Cd and Pb accumulation in soils after repeated application of sewage sludge. Precise field experiments conducted since 1996 at four sites were used for the investigation. Potatoes, wheat and barley were grown in a crop rotation and anaerobically digested sewage sludge was applied once in a three-year period at two different application rates. Results from years 1996-2005 are presented here. The three applications of sludge during this period resulted in following total addition of HM: 110 g $Cd.ha^{-1}$ and 2598 g $Pb.ha^{-1}$ (single rate); and 329 g $Cd.ha^{-1}$ and 7795 g $Pb.ha^{-1}$ (triple rate). Counted theoretic relative increase of HM concentration in soils was 9-365 % for Cd and 2-31 % for Pb depending on the locality and sludge rate. From the total amount of sludge borne HM, only small portion was removed by harvests of crops (2-11 % for Cd and 0.24-0.95 % for Pb).

Key words: sewage sludge, cadmium, lead, accumulation in soil

ABSTRAKT

Využití čistírenských kalů v zemědělství je vhodné z hlediska návratu živin a organické hmoty do půdy, může však vést k akumulaci těžkých kovů (TK) v půdě. Cílem práce bylo posoudit riziko akumulace Cd a Pb v půdách po opakované aplikaci čistírenských kalů. Ke sledování byly využity dlouhodobé přesné polní pokusy, založené v roce 1996 na čtyřech lokalitách, kde jsou v tříletém rotačním cyklu pěstovány brambory, pšenice a ječmen. Anaerobně stabilizovaný čistírenský kal je aplikován jednou za tři roky (pod brambory) ve dvou aplikačních dávkách. V tomto příspěvku jsou uvedeny výsledky z let 1996-2005. Během této doby bylo kalem dodáno celkem: 110 g $Cd.ha^{-1}$ a 2598 g $Pb.ha^{-1}$ (základní dávka) a 329 g $Cd.ha^{-1}$ a 7795 g $Pb.ha^{-1}$ (trojitá dávka). Z těchto hodnot byl vypočten teoretický relativní nárůst koncentrace TK v půdě. Koncentrace Cd vzrostla o 9-365 % a koncentrace Pb o 2-31 % v závislosti na lokalitě a dávce kalu. Z celkového množství kalem dodaných TK byla sklizní plodin odčerpána jen malá část (v případě Cd 2-11 % a v případě Pb 0,24-0,95 %).

Klíčová slova: čistírenský kal, kadmium, olovo, hromadění v půdě

ÚVOD

Čistírenský kal je hodnotným zdrojem organické hmoty a živin pro rostliny, avšak často obsahuje vysoké koncentrace těžkých kovů, což omezuje jeho aplikaci do půdy. Těžké kovy jsou v půdě vysoce perzistentní a mohou být přijímány rostlinami (Chang et al., 1997; McGrath et al., 2000). Sukkariyah et al. (2005) nalezli v horních 25 cm půdy po 17 letech od aplikace kalu téměř 90 % z dodaného množství Cu, Ni a Zn. Po aplikaci čistírenských kalů do půdy se kovy v nich obsažené sorbují na organominerální komplex. To může vést ke zvýšené rozpustnosti některých kovů (díky tvorbě rozpustných organických komplexů) nebo naopak k jejich imobilizaci a následně snížení přístupnosti pro rostliny (García et al., 1990). Příjem těžkých kovů rostlinami se liší v závislosti na daném prvku, pěstovaném druhu rostliny a půdních podmínkách. U většiny kovů je průměrný roční odběr sklizní plodin obvykle menší než jejich vnos. McGrath (1987) uvádí, že odběr kovů rostlinami obvykle představuje malou část (0,5-1%) z celkového množství kovů dodaného kaly. Opakovaná aplikace kalů tedy vede ke zvyšování obsahu těžkých kovů v půdách. Tento příspěvek je zaměřen na stanovení bilance kadmia a olova po opakované aplikaci čistírenských kalů v závislosti na rozdílných půdních podmínkách. Kadmium patří mezi vysoce mobilní prvky, naopak olovo se řadí mezi prvky s nízkou mobilitou.

MATERIÁL A METODIKA

Ke sledování hromadění kadmia a olova v půdě a jejich příjem a odběr rostlinami při opakované aplikaci čistírenských kalů do půdy byly využity dlouhodobé přesné polní pokusy založené v roce 1996 na čtyřech pokusných místech s odlišnými půdně klimatickými charakteristikami (Hněvčeves, Humpolec, Lukavec a Praha-Suchdol). Charakteristika půd je uvedena v tabulce 1. Všechny půdy splňují limit obsahu Cd a Pb stanovený vyhláškou č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (0,5 mg $Cd.kg^{-1}$ sušiny půdy a 60 mg $Pb.kg^{-1}$ sušiny půdy).

Tab. 1 Charakteristika půd

lokalita	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
půdní typ	luvizem	kambizem	kambizem	černozem
půdní druh	hlinitá	hlinitá	písčito-hlinitá	jílovito-hlinitá
pH_{KCl}	5,7	4,5	6,1	7,0
C_{ox} (%)	1,8	2,0	1,8	2,3
KVK ($mval.kg^{-1}$)	179	159	128	255
$P_{Mehlich\ III}$ ($mg.kg^{-1}$)	84	123	124	112
$K_{Mehlich\ III}$ ($mg.kg^{-1}$)	251	286	245	223
$Mg_{Mehlich\ III}$ ($mg.kg^{-1}$)	157	137	114	259
Cd_{Total} ($mg.kg^{-1}$)	0,030	0,178	0,427	0,250
Pb_{Total} ($mg.kg^{-1}$)	21,3	38,5	8,5	16,6

Pokusné plodiny jsou na všech lokalitách pěstovány v tříletém rotačním cyklu: 1. rok - brambory, 2. rok - ozimá pšenice, 3. rok - jarní ječmen a v následujících variantách: **kontrola** - bez ošetření, **kal 1** - základní dávka kalu, **kal 3** - trojnásobná dávka kalu. Velikost parcelky každé varianty je přibližně 60 m^2.

Na všech lokalitách je používán shodný anaerobně stabilizovaný kal, pocházející vždy z téže čistírny odpadních vod. Kal je aplikován na podzim před pěstováním brambor. Aplikační dávka je vždy stanovena na základě obsahu dusíku v kalu. Základní dávka kalu odpovídá 330 kg $N.ha^{-1}$, trojnásobná 990 kg $N.ha^{-1}$ na celý tříletý cyklus. Tento příspěvek vyhodnocuje tři uzavřené cykly rotace brambor, pšenice a ječmene. Kal byl aplikován v letech 1996, 1999, 2002. Dávky kalu a jeho charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 2. Limit pro obsah těžkých kovů v kalech stanovený vyhláškou č. 382/2001 Sb. byl v případě olova splněn vždy a v případě kadmia byl překročen v roce 1999 .

Tab. 2 Dávky kalu a jeho charakteristiky

rok aplikace	dávka čerstvé hmoty kalu ($t.ha^{-1}$)		obsah sušiny (%)	obsah těžkých kovů v suché hmotě kalu ($mg.kg^{-1}$)			
				Cd		Pb	
	kal 1	kal 3		x	s	x	s
1996	28,45	85,35	24,39	4,87	0,16	148,97	1,06
1999	30,56	91,69	30,32	5,98	0,28	94,77	0,28
2002	23,58	70,73	30	2,88	0,03	97,12	1,23

Rostliny byly sklízeny v plné zralosti a byl sledován jejich výnos. Odebrané vzorky byly sušeny, homogenizovány a mineralizovány metodou suchého rozkladu. Popel byl rozpuštěn v 1,5 % roztoku HNO_3 a obsah těžkých kovů byl stanoven metodou atomové absorpční spektrometrie (AAS) přístrojem Varian SpectrAA-400. Kvalita analýz byla ověřena pomocí referenčního materiálu RM 12-02-03 Lucerne. Ze zjištěných výnosů a hodnot obsahu Cd a Pb v rostlinách byl vypočten jejich odběr vždy pro celý tříletý cyklus pěstování.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Tento příspěvek vyhodnocuje výsledky za 3 ukončené tříleté rotační cykly z let 1996-2005. Za toto období bylo do půdy celkem dodáno základní dávkou kalu 109,58 g $Cd.ha^{-1}$ a 2598,23 g $Pb.ha^{-1}$ a trojitou dávkou kalu 328,77 g $Cd.ha^{-1}$ a 7795,17 g $Pb.ha^{-1}$. Z uvažované hmotnosti ornice 3000 $t.ha^{-1}$ a počáteční koncentrace kovů naměřené v půdách na jednotlivých lokalitách před zahájením pokusu byly vypočteny počáteční obsahy kovů v ornici a jejich navýšení po aplikaci uvedených dávek kalu v letech 1996-2002. Také byla vypočtena teoretická koncentrace kovů v půdě po aplikaci kalů. Ve výpočtech není uvažován odběr kovů sklizní plodin ani jiné ztráty. Tyto výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Teoretický obsah a koncentrace Cd a Pb v ornici a jejich relativní navýšení po aplikaci kalu

		lokalita	Hněvčeves	Humpolec	Lukavec	Suchdol
Cd	obsah v ornici ($g.ha^{-1}$)	počátek r. 1996	90,00	534,00	1281,00	750,00
		kal 1 r. 2002	199,58	643,58	1390,58	859,58
		kal 3 r. 2002	418,77	862,77	1609,77	1078,77
	koncentrace v ornici ($mg.kg^{-1}$)	počátek r. 1996	0,03	0,18	0,43	0,25
		kal 1 r. 2002	0,07	0,21	0,46	0,29
		kal 3 r. 2002	0,14	0,29	0,54	0,36
	relativní navýšení (%)	počátek r. 1996	100,00	100,00	100,00	100,00
		kal 1 r. 2002	221,75	120,52	108,55	114,61
		kal 3 r. 2002	465,30	161,57	125,66	143,84
Pb	obsah v ornici ($g.ha^{-1}$)	počátek r. 1996	63900,00	115500,00	25500,00	49800,00
		kal 1 r. 2002	66498,23	118098,23	28098,23	52398,23
		kal 3 r. 2002	71695,17	123295,17	33295,17	57595,17
	koncentrace v ornici ($mg.kg^{-1}$)	počátek r. 1996	21,30	38,50	8,50	16,60
		kal 1 r. 2002	22,17	39,37	9,37	17,47
		kal 3 r. 2002	23,90	41,10	11,10	19,20
	relativní navýšení (%)	počátek r. 1996	100,00	100,00	100,00	100,00
		kal 1 r. 2002	104,07	102,25	110,19	105,22
		kal 3 r. 2002	112,20	106,75	130,57	115,65

Z výpočtů je zřejmé, že už po třech aplikacích kalu došlo k výraznému navýšení obsahu kadmia v půdě. Relativně nejvíce stoupl jeho obsah na lokalitě Hněvčeves, která byla před založením pokusu nejméně kontaminována kadmiem, kde bylo zjištěno teoretické navýšení obsahu kadmia v půdě až o 365,3 % na variantě kal 3. Na ostatních lokalitách nedošlo k tak výraznému nárůstu obsahu Cd, avšak například na lokalitě Lukavec se už po třech aplikacích trojnásobné dávky kalu teoretická koncentrace Cd v půdě zvýšila na hodnotu přesahující limit pro použití čistírenských kalů na zemědělské půdě stanovený vyhláškou č. 382/2001 Sb. V případě olova bylo zjištěno teoretické navýšení jeho obsahu v půdě v rozmezí 2,25-30,57 % a teoretická koncentrace Pb v půdě se na žádné z lokalit nepřiblížila limitu pro aplikaci kalů.

Ze sledovaných výnosů plodin a obsahu těžkých kovů v jejich sklizené biomase bylo vypočteno množství kadmia a olova, které bylo z půdy odebráno sklizní všech pěstovaných plodin v letech 1997-2005. U obilnin docházelo k odběru jak zrnem tak slámou, neboť oba produkty jsou v našem pokusu odváženy z pole. U brambor je odběr představován pouze sklizní hlíz, nať zůstává na poli a je následně zaorána. Tabulky 4 a 5 shrnují údaje o celkovém množství kadmia a olova dodaném aplikací kalu pod brambory v letech 1996, 1999, 2002 a odebraném pěstováním brambor, pšenice a ječmene v letech 1997-2005 (3 ukončené rotační cykly). Údaje o odběru jsou uvedené v absolutních hodnotách ($g.ha^{-1}$) a také relativně vyjádřené v % odebraného prvku z množství vneseného aplikací kalu.

Tab. 4 Bilance vnosu a odběru kadmia

ošetření	dodáno Cd (g.ha^{-1})	odběr Cd							
		Hněvčeves		Humpolec		Lukavec		Suchdol	
		g.ha^{-1}	%	g.ha^{-1}	%	g.ha^{-1}	%	g.ha^{-1}	%
kontrola	–	5,13	–	8,47	–	4,89	–	4,00	–
kal 1	109,58	9,01	8,22	12,31	11,23	8,63	7,87	4,92	4,49
kal 3	328,77	9,52	2,89	12,81	3,90	9,69	2,95	5,31	1,61

Z dodaného množství kadmia byla sklizní plodin odebrána jen malá část (1,61-11,23 %), s nejvyšší hodnotou zjištěnou na nejkyselejší půdě lokality Humpolec a nejnižší na lokalitě Suchdol. Tlustoš et al. (2001) sledovali odběr kadmia rostlinami po aplikaci kalu v nádobovém pokusu se špenátem, ovsem a kukuřicí pěstovaných na půdách shodných typů jako v našem pokusu. Nejvyšší odběr Cd špenátem (10 %) zjistili na kambizemích z lokalit Humpolec a Lukavec a nejnižší na černozemi ze Suchdola. Na černozemi zjistili také téměř nulový odběr ovsem. U kukuřice zaznamenali vyrovnaný odběr na kambizemích, luvizemích a černozemích (přibližně 3,5 %).

Tab. 5 Bilance vnosu a odběru olova

ošetření	dodáno Pb (g.ha^{-1})	odběr Pb							
		Hněvčeves		Humpolec		Lukavec		Suchdol	
		g.ha^{-1}	%	g.ha^{-1}	%	g.ha^{-1}	%	g.ha^{-1}	%
kontrola	–	14,11	–	15,33	–	16,91	–	18,37	–
kal 1	2598,232	24,56	0,95	19,88	0,77	18,48	0,71	22,88	0,88
kal 3	7795,174	27,08	0,35	22,41	0,29	18,82	0,24	25,44	0,33

Relativní odběr olova byl nižší než v případě kadmia a pohyboval se v rozmezí 0,24-0,95 %, což potvrzuje, že olovo jedním z nejméně mobilních prvků. Nejvyšší hodnota odběru byla zjištěna na luvizemi Hněvčeves a nejnižší na kambizemi Lukavec. Také Tlustoš et al. (2001) zjistili nejvyšší odběr olova po aplikaci kalů na luvizemích a následně černozemích.

Naše výsledky také ukázaly, že s rostoucí dávkou kalu nedochází již k tak výraznému nárůstu absolutních hodnot odběru kadmia a olova a relativní odběr prvků z dodaného množství výrazně klesá.

ZÁVĚR

Výsledky pokusu ukázaly, že při hnojení půd čistírenskými kaly dochází ke vnosu podstatného množství kadmia a olova do půdy, z něhož je sklizní plodin odčerpána jen malá část. Riziko hromadění těžkých kovů v půdě je tedy, zvláště při použití vyšších dávek kalu, značné. Použití identického kalu na všech sledovaných lokalitách umožnilo posoudit vliv rozdílných půdních vlastností na příjem a odběr kadmia a olova rostlinami.

PODĚKOVÁNÍ

Problematika byla řešena v rámci grantů FRVŠ 2351/2006/G4 a NAZV QF 4063.

LITERATURA

García C., Hernández, T., Costa, F. (1990): The influence of composting and maturation processes on the heavy metal extractability from some organic wastes. Biol. Wastes, 31:291-301.

Chang, A.C., Hyun, H.N., Page, A.L. (1997): Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: Plateau or time bomb? J. Environ. Qual., 26:11-19.

Lavado, R.S., Rodríguez, M.B., Taboada, M.A. (2005): Treatment with biosolids affects soil availability and plant uptake of potentially toxic elements. Agricult., Ecosys. and Environ.109:360-364.

McGrath, S.P. (1987): Long-term studies of metal transfer following the application of sewage sludge. p. 301-317. In Coughtrey, P.J., Martin, M.H (ed.).: Pollutant transport and fate in ecosystemms. Blackwell Sci., Oxford.

McGrath, S.P., Zhao, F.J., Dunham, S.J., Crosland, A.R., Coleman, K. (2000): Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. J. Environ. Qual. 29:875-883.

Moreno, J. L., García, C., Hernández, T., Pascual, J.A. (1996): Transference of heavy metals from a calcareous soil amended with sewage sludge compost to barley plants. Biores. Technol. 55:251-258.

Sukkariyah, B.F, Evanylo, G., Zelazny, L., Chaney, R.L. (2005): Recovery and distribution of biosolids-derived trace metals in a clay loam soil. J. Environ. Qual. 34:1843-1850.

Tlustoš, P., Balík, J., Dvořák, P., Száková, J., Pavlíková, D. (2001): Zinc and lead uptake by three crops planted on different soils treated by sewage sludge. Rostl. Výr. 47(3): 129-134.

Vyhláška MŽP ČR č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.