

III skyrius. AUGALININKYSTĖ

Chapter 3. CROP PRODUCTION

ISSN 1392-3196

Žemdirbystė / Zemdirbyste / Agriculture, t. 95, Nr. 2 (2008), p. 61–71

UDK 546.4/.8:633.11.324:631.8

SUNKIŲJŲ METALŲ KONCENTRACIJA SKIRTINGAI TRĘŠTŲ ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ GRŪDUOSE

Jadvyga LUBYTĖ, Antanas ANTANAITIS, Zigmas VAIŠVILA,
Jonas MAŽVILA, Tomas ADOMAITIS, Jonas ARBAČIAUSKAS

Lietuvos žemdirbystės institutas
Savanorių pr. 278, Kaunas
El. paštas analize@agrolab.lt

Santrauka

Straipsnyje pateikiami tyrimų duomenys apie mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaką sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn ir Fe) kaupimuisi žieminių kviečių grūduose moreninės kilmės smėlingo lengvo priemolio sekliai ir giliau karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (RDg4-k1; k2).

Dėl ilgalaikio (1971–2006 m.) tręšimo skirtingomis NPK trąšų normomis (90 ir 180 kg ha⁻¹) ir maisto medžiagų santykiais kadmio koncentracija žieminių kviečių grūduose svyravo 0,02–0,06 mg kg⁻¹, švino – 0,02–0,05, nikelio 0,08–0,12, chromo – 0,11–0,16, vario – 2,24–4,10, cinko – 16,1–24,9, mangano – 14,6–20,2 ir geležies – 37,3–60,2 mg kg⁻¹ ribose. Kadmio ir švino koncentracija žieminių kviečių grūduose neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos).

Mineralinės trąšos didino kai kurių sunkiųjų metalų kieki kviečių grūduose – nustatytas esminis koreliacinis ryšys: kadmio – nuo fosforo trąšų normų, vario – nuo NK bei PK, cinko – nuo PK trąšų sąveikos, mangano – nuo azoto trąšų normų ir NP, NK bei PK trąšų sąveikos.

Gauti statistiškai esminiai koreliaciniai ryšiai tarp Cu, Fe, Mn, Cd, Zn susikaupimo žieminių kviečių grūdų derliuje ir tręšimo.

Stipriausias koreliacinis ryšys ($\eta = 0,87–0,97$) buvo tarp Cd, Cr, Zn, Ni, Fe, Mn, silpnusias – tarp Cu ($\eta = 0,72$) bei silpniausias – tarp Pb ($\eta = 0,58$), sukaupto grūduose, ir gauto derliaus.

Reikšminiai žodžiai: sunkieji metalai, žieminiai kviečiai, mineralinės trąšos, koncentracija.

Įvadas

Dėl žmonių veiklos nuolat didėja aplinkos tarša. Vieni iš pavojingiausių teršalų yra sunkieji metalai. Jie stabdo augalų vystymąsi, mažina jų produktyvumą, o su augaliniu maistu į žmogaus organizmą patenka didelis sunkiųjų metalų kiekis (75–85 %) /Verloo et al., 1982, Рейли, 1985/. G. Morkovkinas ir E. Panova, tyrę optimalius

(leidžiamus) sunkiųjų metalų patekimo į organizmą kiekius ir apibendrinę įvairių šaltinių duomenis, pateikė šias minimalias ir maksimalias jų reikšmes: Cu – 2–5, Zn – 5,5–22, Ni – 0,6–0,8, Pb – 0,35–0,5 ir Cr – 0,02–0,5 mg žmogui per parą /Морковкин, Панова, 2002/.

Sunkiųjų metalų kaupimuisi, jų migracijai nemažą įtaką turi dirvožemio fizinės ir cheminės savybės: jo rūgštumas, humuso kiekis, genezė, sorbcijos talpa /Boisson et al., 1999; Lubyte ir kt., 2004; Junta Yanai et al., 2006/.

Literatūroje nurodoma, kad ilgalaikis intensyvus tręšimas mineralinėmis trąšomis gali pakeisti dirvožemyje esančių sunkiųjų metalų kieki /Крамарев и др., 2000; Никифорова, Горбунова, 2001; Кураков и др., 2006/. Įvertinant intensyvaus mineralinių trąšų naudojimo pasekmes žmogaus mitybai, įvairiose šalyse atlikta nemažai tyrimų apie sunkiųjų metalų, ypač kadmio, susikaupimą kviečiuose /Кураков и др., 2006; Ozkutlu et al., 2006; Wångstrand et al., 2007/.

Kviečiai yra vieni svarbesnių žemės ūkio augalų. Jie užima nemažus ariamos žemės plotus ir yra derlingi. Švedijos mokslininkų duomenimis, kviečių grūduose nustatyta vidutinė Cd koncentracija yra 0,044 mg kg⁻¹. Kviečiai jo sukaupia daugiau nei kitų javų grūdai. Nustatytas toks kadmio patekimo į javus didėjimas: rugiai < miežiai < avižos < kviečiai. Švedijoje apie 43 % Cd į žmogaus organizmą patenka su kviečių produktais /Wangstrand, 2005/.

Mokslininkų ištirta, kad azoto trąšos, net jeigu jose Cd nėra daug, didina ne tik derlingumą, proteinų kiekį, bet gali padidinti ir Cd koncentraciją žieminių kviečių grūduose /Mitchell et al., 2000; Jonsson, Eriksson, 2003/. Gautas stiprus koreliacinis ryšys tarp N ir Cd koncentracijos žieminiuose ir vasariniuose kviečiuose /Jonsson, Eriksson, 2003/. Kitais duomenimis, azoto trąšos mažino Cd koncentraciją grūduose /Landberg, Greger, 2003/.

Viena iš Cd koncentracijos didėjimo grūduose priežasčių gali būti mainų jonų sąveika dirvožemio tirpale. Katijono Ca²⁺ didėjimas trąšose gali padidinti Cd²⁺ koncentraciją dirvožemio tirpale, taip pat šio elemento patekimą į augalus ir jo kiekį grūduose /Brown et al., 1994, Lorenz et al., 1994/.

Kita priežastis – padidėjusi Ca²⁺ jonų koncentracija dirvožemio tirpale pablogina Cd²⁺ sulaikymą šaknų ląstelių sienelėse. Amonio trąšose esantys NH₄⁺ jonai taip pat veikia mainų Cd²⁺, bet vienvalenčių jonų poveikis yra silpnesnis nei divalenčio Ca²⁺. Tačiau vykstant NH₄⁺ jonų nitrifikacijai rūgštėja dirvožemis ir tuo pat metu didėja kadmio tirpumas /Eriksson, 1990/.

Šio darbo tikslas – nustatyti mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaką sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn ir Fe) kaupimuisi žieminių kviečių grūduose.

Tyrimų sąlygos ir metodai

Norėdami įvertinti skirtingų mineralinių trąšų normų ir NPK sąveikos poveikį sunkiųjų metalų kaupimuisi kviečių grūduose, iš 1971 m. Skėmiuose (Radviliškio r.) įrengto bandymo, kuriame 2006 m. buvo auginti 'SV Maxi' veislės žieminiai kviečiai, buvo paimti grūdų ėminiai iš 20 variantų dviem pakartojimais: N₀P₀K₀, N₀P₉₀K₀, N₀P₉₀K₉₀, N₉₀P₀K₀, N₉₀P₀K₉₀, N₉₀P₉₀K₀, N₉₀P₉₀K₉₀, N₉₀P₉₀K₁₈₀, N₉₀P₁₈₀K₉₀, N₀P₀K₁₈₀,

$N_0P_{180}K_0$, $N_0P_{180}K_{180}$, $N_{180}P_0K_0$, $N_{180}P_0K_{90}$, $N_{180}P_0K_{180}$, $N_{180}P_{90}K_0$, $N_{180}P_{180}K_0$, $N_{180}P_{90}K_{180}$, $N_{180}P_{180}K_{90}$, $N_{180}P_{180}K_{180}$.

Bandymo sėjomainoje auginti augalai (cukriniai runkeliai, vasariniai miežiai, vienamečiai mišiniai ir žieminiai kviečiai) pagal anksčiau nurodytas NPK trąšų normas nuo 1971 m. buvo kasmet tręšiami naudojant amonio salietrą, granuliuotą superfosfatą ir kalio chloridą. Žieminiams kviečiams fosforo ir kalio trąšos bertos iki priešsėjimo dirvos kultivavimo, o azoto – pavasarį, atsinaujinus vegetacijai. Vidutinė sunkiųjų metalų koncentracija trąšose, nustatyta ATC laboratorijoje, nurodyta 1 lentelėje.

1 lentelė. Vidutinė sunkiųjų metalų koncentracija mineralinėse trąšose

Table 1. Average concentration of heavy metals in mineral fertilisers

Trąšos / Fertilisers	n	mg kg ⁻¹							
		Cd	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn	Fe
Amonio salietra <i>Ammonium nitrate</i>	4	1,00	1,75	< 0,4*	2,5	0,75	8,0	2,5	135
Kalio chloridas <i>Potassium chloride</i>	7	1,98	19,0	3,2	11,9	2,5	7,8	13,0	1400
Superfosfatas <i>Superphosphate</i>	11	2,75	14,5	7,5	12,5	26,2	18,2	130	1850

* – nustatymo riba / *determination limit*

Bandymas įrengtas moreninės kilmės smėlingo lengvo priemolio sekliai ir giliau karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (RDg4-k1; k2) – *Epicalcari-Endohypogleyic* ir *Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol* (CMg-n-w-cap; can). Kai augo žieminiai kviečiai, ariamojo sluoksnio pH_{KCl} buvo 6,5–7,2, mainų katjonų (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) – 136,7 mmol kg⁻¹, mainų rūgštumas mažas, pasotinti bazėmis. Priklausomai nuo naudotų trąšų normų, judriojo fosforo (P₂O₅) kiekis buvo 65–360, judriojo kalio (K₂O) – 104–176 mg kg⁻¹, humuso – 2,34–2,62 %. Sunkiųjų metalų dirvožemyje rasta: Cr – 10,2–13,4, Cd – 0,4–0,7, Pb – 13,2–16,7, Ni – 8,6–10,6, Cu – 5,5–6,8 ir Zn – 21,6–27,7 mg kg⁻¹.

2006 m. atskirais mėnesiais kritulių iškrito mažiau už daugiametę normą. Ypač sausringas buvo birželio mėnuo, kada vyko intensyvus žieminių kviečių augimas, plaukėjimas bei žydėjimas. Tą mėnesį iškrito 7 mm kritulių, arba tik 11 % daugiametės normos. Tai lėmė kiek mažesnę žieminių kviečių derlių, nors oro temperatūra dažniausiai buvo artima vidutinei daugiametei, o liepos mėnesį ją viršijo 4,3 °C.

Analizės atliktos Lietuvos žemdirbystės instituto Agrocheminių tyrimų centro laboratorijoje. Žieminių kviečių grūdų ėminiai sudeginti krosnyje +450±50 °C temperatūroje iki pelenų ir ištirpinti santykiu 1:1 praskiestoje azoto rūgštyje. Sunkieji metalai nustatyti atominės absorbcijos spektrometriju (AAS) metodu: Cd, Pb – beliepsnės, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn ir Fe – liepsnos.

Dirvožemyje nustatyta: pH_{KCl} – potenciometriju, judrieji fosforas (P₂O₅) ir kalis (K₂O) – A-L, humusas – sauso deginimo su anglies analizatoriumi TOC II, mainų rūgštumas – titometriju, 1M KCl, mainų katjonai kalcis (Ca) ir magnis (Mg) – spektrometriju (AAS), kalis (K) ir natrijs (Na) – liepsnos emisijos spektrometriju, 1 M

amonio acetato buferiniame tirpale (pH 7), sunkieji metalai dirvožemyje ir mineralinėse trąšose – spektrometriniu (beliepsnė AAS), 2 M HNO₃ metodais.

Duomenų dispersinė ir koreliacinė-regresinė analizės atliktos panaudojant kompiuterinės programos STATISTIKA versiją 6.0 /Clewer, Scarisbrick, 2001/.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Ilgalaikio (1971–2006 m.) bandymo moreninės kilmės smėlingo lengvo priemolio dirvožemyje nustatyta NPK trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaka sunkiųjų metalų kaupimuisi žieminių kviečių grūduose parodyta paveiksle.

Daugiausia kviečių grūduose buvo sukaupta Fe, Mn, Zn ir Cu, kurių suminis kiekis – 77,1–93,9 mg kg⁻¹, o jų koncentracija priklausė nuo NPK trąšų normų ir jų santykio. Cr, Cd, Pb ir Ni rasta nedaug – 0,29–0,35 mg kg⁻¹, tai sudaro tik 0,3–0,4 % visų tirtų sunkiųjų metalų suminio kiekio. Kadmio ir švino, palyginti su kitais tirtais elementais, žieminių kviečių grūduose buvo gerokai mažiau, o jų koncentracija už didžiausią leidžiamą koncentraciją (DLK – 0,2 mg kg⁻¹) mažesnė atitinkamai 3,3 ir 4 kartus. Cd kiekis kviečių grūduose svyravo 0,02–0,06, o Pb – 0,02–0,05 mg kg⁻¹ ribose.

Labiausiai kadmio koncentraciją grūduose didino vien fosforo trąšos, mažiau – kalio bei NPK trąšų deriniai. Didinant šių trąšų normas, Cd kiekis grūduose turėjo tendenciją didėti.

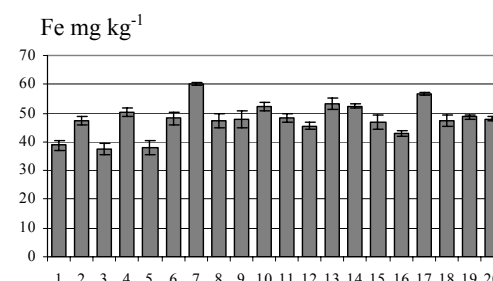
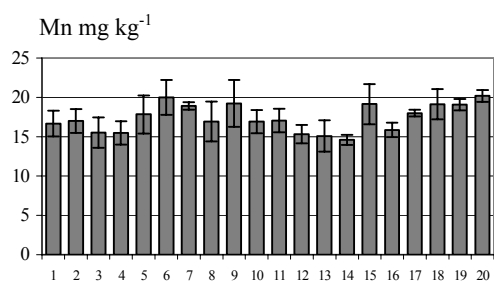
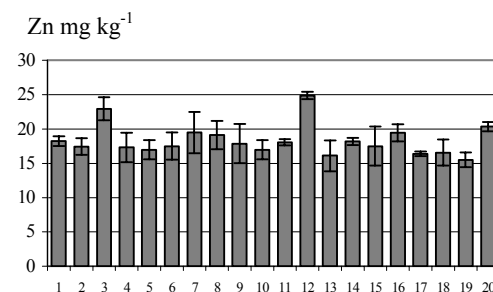
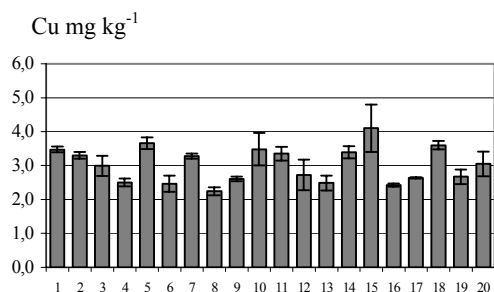
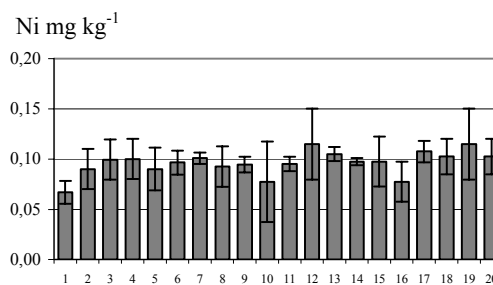
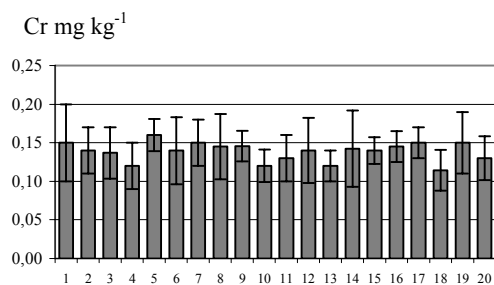
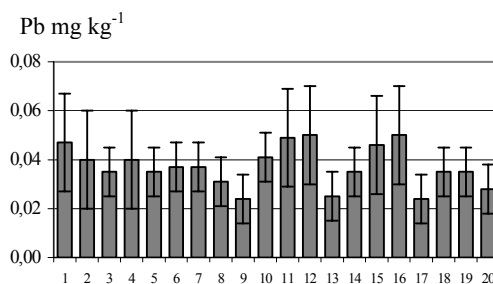
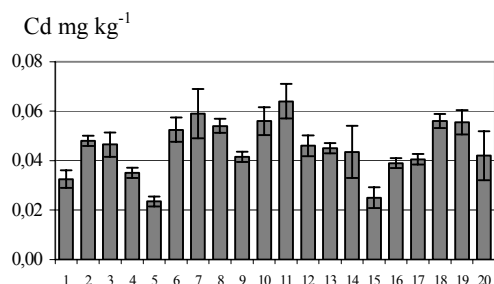
Didesnė Cd koncentracija grūduose galėjo būti ir dėl kalio chlorido naudojimo augalams tręšti, nes susidarė tirpūs Cl ir Cd kompleksai, kuriuos augalai lengvai pasisavino /Ozkutlu et al., 2006/. Be to, Cd kaupimąsi grūduose taip pat didino ir azoto trąšos. Švedijos mokslininkų duomenimis, 10 kg ha⁻¹ N kadmio koncentraciją kviečių grūduose vidutiniškai padidina 0,001–0,003 mg kg⁻¹ /Wångstrand et al., 2007/.

Kviečius patręšus įvairiomis NPK trąšų normomis ir skirtingais jų deriniais, jų grūduose švino koncentracija turėjo tendenciją mažėti, tačiau kur buvo tręšiama didelėmis kalio (K₁₈₀), taip pat fosforo ir kalio (P₁₈₀, K₁₈₀) trąšų normomis, tokių pokyčių nepastebėta. Patręšus kviečius pagal N₉₀P₁₈₀K₉₀ bei N₁₈₀P₁₈₀K₀ trąšų normas, jų grūduose, palyginti su netręštais, Pb kiekis sumažėjo (galbūt dėl padidėjusio derliaus).

Nikelio koncentracija (0,08–0,12 mg kg⁻¹) tręštų kviečių grūduose, palyginti su netręštais (0,06 mg kg⁻¹), buvo didesnė, bet dėsningos trąšų normų ir santykių įtakos nepastebėta. Ši Ni koncentracija kviečių grūduose neviršija, kai kurių autorių duomenimis, nurodomų optimalių (0,1 iki 1,0 mg kg⁻¹) jo ribų /Kirchmann et al., 2005/.

Šių tyrimų kai kurių variantų kviečių grūduose pastebėtas nedidelis Cr koncentracijos sumažėjimas. Tačiau jos svyravimams (0,11–0,16 mg kg⁻¹) didesnę įtaką galėjo turėti dirvožemio dangos įvairavimas (granuliometrinė sudėtis, karbonatingojo sluoksnio gylis ir kt.) nei tręšimas mineralinėmis trąšomis. Tai patvirtina ir nustatyti standartiniai nuokrypiai (0,02–0,06 mg kg⁻¹).

Dėl mineralinių trąšų naudojimo kviečių grūduose įvairavo ir Cu (2,24–4,10 mg kg⁻¹), Zn (16,1–24,9 mg kg⁻¹), Mn (14,6–20,2 mg kg⁻¹) bei Fe (37,3–60,2 mg kg⁻¹) koncentracija (pav.). Cinko ir mangano pokyčiai dėl tręšimo buvo mažesni. Cinko koncentracija padidėjo tų variantų kviečiuose, kurie buvo tręšti tik fosforo ir kalio (P₉₀K₉₀ ir P₁₈₀K₁₈₀) trąšomis. Manganas didėjo, kai buvo tręšta pagal didesnes NP, NK arba NPK trąšų normas, o vario didėjimą labiau skatino kalio, mažėjimą – azoto trąšos.



1 – N₀P₀K₀, 2 – N₀P₉₀K₀, 3 – N₀P₉₀K₉₀, 4 – N₉₀P₀K₀, 5 – N₉₀P₀K₉₀, 6 – N₉₀P₉₀K₀, 7 – N₉₀P₉₀K₉₀, 8 – N₉₀P₉₀K₁₈₀, 9 – N₉₀P₁₈₀K₉₀, 10 – N₀P₀K₁₈₀, 11 – N₀P₁₈₀K₀, 12 – N₀P₁₈₀K₁₈₀, 13 – N₁₈₀P₀K₀, 14 – N₁₈₀P₀K₉₀, 15 – N₁₈₀P₀K₁₈₀, 16 – N₁₈₀P₉₀K₀, 17 – N₁₈₀P₁₈₀K₀, 18 – N₁₈₀P₉₀K₁₈₀, 19 – N₁₈₀P₁₈₀K₉₀, 20 – N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀

Paveikslas. Mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaka sunkiųjų metalų koncentracijai žieminių kviečių grūduose

Figure. The effect of mineral fertiliser rates and nutrient ratio on the concentration of heavy metals in winter wheat grain

Dėl skirtingo ilgalaikio tręšimo taip pat skyrėsi geležies koncentracija grūduose. Tręštų kviečių grūduose, palyginti su netręštais, išskyrus P₉₀K₉₀ bei N₉₀K₉₀ variantus, geležies buvo daugiau, bet dažniausiai ne daugiau už minimalią ribą – 50 mg kg⁻¹ (Kirchmann et al., 2005). O patręšus P₉₀K₉₀ bei N₉₀K₉₀, geležies kviečių grūduose nustatyta 1,3 karto mažiau už šią ribą. Kaip nurodoma literatūroje, geležies tirpumui bei augalų pasisavinimui turi įtakos ir organinių medžiagų kiekis /Carlgren, Mattsson, 2001/.

Atlikus koreliacinę-regresinę duomenų analizę, nustatytas esminis koreliacinis ryšys: kadmio – nuo fosforo trąšų normų, vario – nuo NK bei PK, cinko – nuo PK trąšų sąveikos, mangano – nuo azoto trąšų normų ir NP, NK bei PK trąšų sąveikos (2 lentelė).

2 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos žieminių kviečių grūduose mg kg⁻¹ (y) priklausomumas nuo mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio (a)

Table 2. The dependence of heavy metal concentration mg kg⁻¹ (y) in winter wheat grain on the rates of mineral fertilisers and nutrient ratio (a)

Skėmiai, 2006

Lygties / Equation $y=a_0+a_1N+a_2P+a_3K+a_4N^2+a_5P^2+a_6K^2+a_7NP+a_8NK+a_9PK$										R
koeficientai / coefficients										
a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	
p										
Cd										
0,037	-0,00014	0,00033*	0,00014	$6,78 \cdot 10^{-7}$	$-1,35 \cdot 10^{-6}$ *	$-1,0 \cdot 10^{-6}$	$-1,87 \cdot 10^{-7}$	$-2,10 \cdot 10^{-7}$	$-2,36 \cdot 10^{-7}$	0,64*
	0,152	0,0013	0,14	0,19	0,0090	0,33	0,79	0,46	0,42	0,045
Pb										
0,042	-0,00015	$9,58 \cdot 10^{-5}$	$-5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$-3,7 \cdot 10^{-7}$	$2,72 \cdot 10^{-7}$	$-4,0 \cdot 10^{-7}$	$9,32 \cdot 10^{-7}$	$-6,4 \cdot 10^{-7}$	0,42
	0,25	0,44	0,67	0,30	0,57	0,67	0,28	0,80	0,87	0,68
Cr										
0,13	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	0,00027	$-4,2 \cdot 10^{-7}$	$-2,10 \cdot 10^{-7}$	$-2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,73 \cdot 10^{-7}$	$-3,7 \cdot 10^{-7}$	$-2,3 \cdot 10^{-7}$	0,27
	0,75	0,69	0,16	0,67	0,83	0,13	0,75	0,95	0,70	0,98
Ni										
0,081	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,00012	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$-1,0 \cdot 10^{-6}$	$-1,1 \cdot 10^{-6}$	$-2,2 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	0,48
	0,52	0,94	0,44	0,99	0,48	0,50	0,25	0,72	0,64	0,47
Cu										
3,21	-0,0091	-0,0028	0,0024	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$2,90 \cdot 10^{-5}$	$-5,32 \cdot 10^{-6}$	$-1,90 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$ *	$-4,60 \cdot 10^{-5}$ *	0,87*
	0,13	0,61	0,66	0,27	0,32	0,85	0,26	0,0048	0,023	0,015
Zn										
18,55	-0,031	0,013	0,024	0,00016	$-9,2 \cdot 10^{-5}$	-0,00011	$-6,4 \cdot 10^{-5}$	$-8,2 \cdot 10^{-5}$	0,00017*	0,73*
	0,085	0,43	0,16	0,091	0,30	0,21	0,20	0,10	0,0042	0,0026
Mn										
16,40	0,021	0,0072	-0,0088	-0,00019*	$-2,1 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$ *	0,00013*	$-8,0 \cdot 10^{-5}$	0,70*
	0,21	0,65	0,58	0,036	0,98	0,56	0,048	0,011	0,13	0,0070
Fe										
40,03	0,091	0,059	0,0099	-0,00021	$-7,0 \cdot 10^{-5}$	0,00015	-0,00012	-0,00021	-0,00023	0,53
	0,10	0,26	0,84	0,46	0,79	0,58	0,45	0,17	0,18	0,26

* – koreliacinis ryšys statistškai esminis, kai tikimybės lygmuo $p < 0,05$ / correlation significant at probability level $p < 0.05$.

Kadangi žieminių kviečių derlių ir sunkiųjų metalų koncentraciją daugiausia lėmė skirtingos trąšų normos ir maisto medžiagų santykiai, apskaičiavus sunkiųjų metalų kieki g ha⁻¹, kviečių derliuje šie skirtumai gauti dar ryškesni (3 lentelė).

3 lentelė. Mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaka sunkiųjų metalų susikaupimui žieminių kviečių grūdų derliuje

Table 3. The effect of mineral fertiliser rates and nutrient ratio on heavy metal concentration mg kg⁻¹ in winter wheat grain yield

Skėmiai, 2006

Trąšų norma kg ha ⁻¹ Fertiliser rate kg ha ⁻¹			Grūdų derlius Grain yield	Cd	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn	Fe
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	t ha ⁻¹	g ha ⁻¹							
0	0	0	2,66	0,09	0,13	0,40	0,18	9,2	48,5	44,3	103,0
0	90	0	3,09	0,15	0,12	0,43	0,28	10,2	53,9	52,5	146,8
0	90	90	2,95	0,14	0,10	0,40	0,29	8,8	67,8	45,8	110,1
90	0	0	3,29	0,12	0,13	0,39	0,33	8,2	56,9	50,9	165,2
90	0	90	2,29	0,05	0,08	0,37	0,21	8,4	38,9	40,9	87,3
90	90	0	3,80	0,20	0,14	0,53	0,37	9,3	66,5	75,9	183,3
90	90	90	5,23	0,31	0,19	0,78	0,53	17,1	102,0	98,9	314,6
90	90	180	4,95	0,27	0,15	0,72	0,46	11,1	94,7	83,9	234,0
90	180	90	5,33	0,22	0,13	0,78	0,50	13,9	95,2	103,0	255,7
0	0	180	3,23	0,18	0,13	0,39	0,25	11,2	54,9	54,7	168,9
0	180	0	2,86	0,18	0,14	0,37	0,27	9,6	51,7	48,8	138,3
0	180	180	2,76	0,13	0,14	0,39	0,32	7,5	68,7	42,3	125,4
180	0	0	3,42	0,15	0,09	0,41	0,36	8,5	55,1	51,6	182,6
180	0	90	2,90	0,13	0,10	0,41	0,28	9,8	52,8	42,3	152,3
180	0	180	2,88	0,07	0,13	0,40	0,28	14,7	50,4	55,1	134,6
180	90	0	4,33	0,17	0,22	0,63	0,34	10,5	84,2	68,7	186,2
180	180	0	4,00	0,16	0,10	0,60	0,43	10,5	65,5	72,0	227,3
180	90	180	4,95	0,28	0,17	0,57	0,51	17,8	82,0	94,6	235,1
180	180	90	4,28	0,24	0,15	0,64	0,49	11,4	66,3	81,6	208,7
180	180	180	5,19	0,22	0,15	0,67	0,53	15,8	106,0	105,0	249,4
R ₀₅ / LSD ₀₅			0,31	0,026	0,022	0,074	0,054	1,57	9,79	9,92	24,87

Dėl tręšimo kadmio kiekis grūdų derliuje padidėjo 1,3–3,6 karto, išskyrus N₉₀P₀K₉₀ ir N₁₈₀P₀K₁₈₀ variantus. Švino kiekį vieni trąšų deriniai didino (N₉₀P₉₀K₉₀ – 1,6, N₁₈₀P₉₀K₁₈₀ – 1,4, N₁₈₀P₉₀K₀ – 1,7 karto), kiti mažino (N₀P₉₀K₉₀ – 1,2, N₉₀P₀K₉₀ – 1,6, N₁₈₀P₁₈₀K₀ – 1,3, N₁₈₀P₀K₀ – 1,5 karto), o likusieji neturėjo didesnės įtakos. Nikelį ir chromą grūduose NPK normos ir jų deriniai didino atitinkamai 1,2–3,0 ir iki 2 kartų.

Mineralinės NPK trąšos dažniausiai didino geležies, mangano, cinko ir vario kaupimąsi kviečių derliuje. Geležies padaugėjo iki 3,0, mangano – 2,4, cinko – 2,2, vario – iki 1,9 karto.

Atlikus sunkiųjų metalų susikaupimo žieminių kviečių grūdų derliuje priklausomumo nuo mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio koreliacinę-regresinę

analizę, nustatyti statistiškai esminiai Cu, Fe, Mn, Cd ir Zn ryšiai (4 lentelė). Šie ryšiai yra stipresni nei tarp sunkiųjų metalų koncentracijos žieminių kviečių grūduose ir mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio. Matyt, tai lemia ne tik derlius ir sunkiųjų metalų koncentracijai žieminių kviečių grūduose turintys įtaką azotas, fosforas ir kalis, bet ir su mineralinėmis trąšomis patekę kiti cheminiai elementai bei junginiai (chloridai, sulfatai ir kt.) ir dirvožemio fizikinės savybės, jo biologinis aktyvumas. Be to, sunkiųjų metalų susikaupimą augaluose sąlygoja ir sinergizmo bei antagonizmo ryšiai /Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989/.

4 lentelė. Sunkiųjų metalų kaupimosi žieminių kviečių grūdų derliuje $g\ ha^{-1}$ (y) priklausomumas nuo mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio (a)

Table 4. The dependence of heavy metal accumulation $g\ ha^{-1}$ (y) in winter wheat grain yield on mineral fertiliser rates and nutrient ratio (a)

Skėmiai, 2006

Lygties / Equation $y = a_0 + a_1N + a_2P + a_3K + a_4N^2 + a_5P^2 + a_6K^2 + a_7NP + a_8NK + a_9PK$										R
koeficientai / coefficients										
a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	
P										
Cd										
0,13	-0,00010	0,00030	-0,00017	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$-4,0 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$ *	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,76*
	0,90	0,72	0,84	0,27	0,88	0,75	0,12	0,048	0,42	0,026
Pb										
0,10	0,00048	-0,00021	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$-1,0 \cdot 10^{-6}$	$-2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	0,67
	0,32	0,64	0,96	0,72	0,42	0,81	0,30	0,20	0,27	0,56
Cr										
0,45	0,00063	-0,00059	-0,00092	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$-4,0 \cdot 10^{-6}$	$-7,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	0,83
	0,69	0,70	0,54	0,85	0,18	0,64	0,35	0,16	0,70	0,095
Ni										
0,34	0,00032	0,00033	-0,0019	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$-4,0 \cdot 10^{-6}$	$-5,0 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	0,78
	0,81	0,80	0,16	0,71	0,77	0,24	0,27	0,22	0,33	0,21
Cu										
11,56	0,031	-0,074*	-0,063*	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0,00041*	0,00028*	-0,00013	-0,00015	0,00024*	0,90*
	0,24	0,011	0,024	0,97	0,0079	0,049	0,10	0,06	0,011	0,012
Zn										
64,56	0,23	-0,24	-0,28	-0,00053	0,0017	0,0012	-0,00036	-0,00087	0,00094*	0,75*
	0,36	0,32	0,26	0,68	0,19	0,36	0,61	0,23	0,024	0,031
Mn										
56,69	0,17	-0,19	-0,30	0,00023	0,0018	0,0014	-0,00075	-0,0014*	0,00071	0,82*
	0,47	0,41	0,21	0,85	0,16	0,26	0,28	0,047	0,35	0,097
Fe										
127,43	0,61	0,18	-0,44	0,0003	0,0027	0,0027	-0,0040*	-0,0038*	0,0014	0,86*
	0,31	0,75	0,43	0,92	0,36	0,36	0,033	0,038	0,45	0,048

* – koreliacinis ryšys statistiškai esminis, kai tikimybės lygmuo $p < 0,05$ / correlation significant at probability level $p < 0.05$.

Apskaičiavus sunkiųjų metalų susikaupimo kviečių grūduose priklausomumą nuo jų derliaus, stipriausias koreliacinis ryšys ($\eta = 0,87-0,97$) nustatytas tarp grūduose sukaupto Cd, Cr, Zn, Ni, Fe, Mn, silpnėsnis – tarp Cu ($\eta = 0,72$) bei silpniausias – tarp Pb ($\eta = 0,58$) ir gauto derliaus (5 lentelė).

5 lentelė. Sunkiųjų metalų kaupimosi žieminių kviečių grūduose (y. g ha⁻¹) priklausomumas nuo jų derlingumo (x. t ha⁻¹)

Table 5. The dependence of heavy metal accumulation in winter wheat grain (y. g ha⁻¹) on the productivity of winter wheat (x. t ha⁻¹)

Skėmiai, 2006

y	Lygties / Equation $y = a+bx$ parametrai / indexes		r	p
	a	b		
Cd	$y = 1,5708 + 12,478 x^*$		0,87	$8,0 \cdot 10^{-7}$
Pb	$y = 1,4238 + 17,0686 x^*$		0,58	0,0069
Cr	$y = 0,4214 + 6,4105 x^*$		0,89	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Ni	$y = 0,7408 + 8,2734 x^*$		0,93	$2,0 \cdot 10^{-9}$
Cu	$y = 1,1213 + 0,2323 x^*$		0,72	$4,0 \cdot 10^{-4}$
Zn	$y = 0,5376 + 0,0467 x^*$		0,92	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Mn	$y = 0,8718 + 0,0434 x^*$		0,97	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Fe	$y = 0,8714 + 0,0158 x^*$		0,94	$1,0 \cdot 10^{-10}$

* – koreliacinis ryšys statistiškai esminis, kai tikimybės lygmuo $p < 0,05$ / correlation significant at probability level $p < 0.05$.

Išvados

1. Smėlingo lengvo priemolio glėjiškame rudžemyje dėl ilgalaikio (1971–2006 m.) tręšimo NPK trąšomis pagal įvairias normas (90 ir 180 kg ha⁻¹) ir skirtingą maisto medžiagų santykį kadmio koncentracija žieminių kviečių grūduose svyravo 0,02–0,06 mg kg⁻¹, švino – 0,02–0,05, nikelio 0,08–0,12, chromo – 0,11–0,16, vario – 2,24–4,10, cinko – 16,1–24,9, mangano – 14,6–20,2 ir geležies – 37,3–60,2 mg kg⁻¹ ribose.

2. Kadmio ir švino koncentracija žieminių kviečių grūduose, net ir ilgą laiką (36 m.) naudojant dideles trąšų normas, neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos (pagal HN 54:2003).

3. Mineralinės trąšos didino kai kurių sunkiųjų metalų koncentraciją kviečių grūduose – nustatytas esminis koreliacinis ryšys: kadmio – nuo fosforo trąšų normų, vario – nuo NK bei PK, cinko – nuo PK trąšų sąveikos, mangano – nuo azoto trąšų normų ir NP, NK bei PK trąšų sąveikos.

4. Gauti statistiškai esminiai koreliaciniai ryšiai tarp Cu, Fe, Mn, Cd ir Zn kaupimosi žieminių kviečių grūdų derliuje bei jų tręšimo.

5. Stipriausias koreliacinis ryšys ($\eta = 0,87-0,97$) buvo tarp grūduose sukaupto Cd, Cr, Zn, Ni, Fe, Mn, silpnėsnis – tarp Cu ($\eta = 0,72$) bei silpniausias – tarp Pb ($\eta = 0,58$) ir gauto derliaus.

Gauta 2008-01-24

Pasirašyta spaudai 2008-05-14

LITERATŪRA

1. Boisson J., Mench M., Vangronsveld J. et al. Immobilization of trace metals and arsenic by different soil additives: Evolution by means of chemical exreactions // *Communication in Soils Science and Plant Analysis*. – 1999, vol. 30, iss. 3–4, p. 365–387
2. Brown K. R., Grant C. A., Racz G. J. The effect of nitrogen source, rate and placement on Cd bioavailability // *Papers presented at the 37th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting*. Winnipeg, 4 and 5 January 1994. – 1994, p. 167–175
3. Carlgren K., Mattsson L. Swedish soil fertility experiments // *Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. B, Soil and Plant Sciences*. – 2001, vol. 51, p. 49–78
4. Clewer A. G., Scarisbrick D. H. *Practical statistics and experimental design for plant and crop science*. – New York, 2001. – 331 p.
5. Eriksson J. Effects of nitrogen-containing fertilizers on solubility and plant uptake of cadmium // *Water Air Soil Pollut.* – 1990, vol. 49, p. 355–368
6. Jönsson J. Ö., Eriksson J. The effect of fertilisation for higher protein content on Cd-level in wheat grain // *7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE)*. Uppsala, June 15–19 2003: conference proceedings 1:I. – 2003, p. 242–243
7. Junta Yanai, Fang-Jie Zhao, Steve P. et al. Effect of soil characteristics on Cd uptake by the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* // *Environmental Pollution*. – 2006, vol. 139, iss. 1, p. 167–175
8. Kirchmann H., Thorvaldsson G., Björnsson H. et al. Trace elements in crops from Swedish and Icelandic long-term experiments // *Essential trace elements for plants, animals and humans, Rit LBHÍ*. – 2005, No. 3, p. 30–33
9. Landberg T., Greger M. Influence of N and N supplementation on Cd accumulation in wheat grains // *7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE)*. Uppsala, June 15–19 2003: conference proceedings 1:III. – 2003, p. 90–91
10. Lorenz S. E., Hamon R. E., McGrath S. P. et al. Applications of fertilizer cations affect cadmium and zinc concentrations in soil solutions and uptake by plants // *European Journal Soil Science*. – 1994, vol. 45, p. 159–165
11. Lubyte J., Antanaitis A., Adomaitis T. ir kt. Įvairių formų sunkiųjų metalų ir mikroelementų kiekio dirvožemyje priklausomumas nuo tręšimo // *Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU*. – Akademija (Kėdainių r.), 2004, t. 87, Nr. 1, p. 44–58
12. Mitchell L. Grant C., Racz G. Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and in durum wheat // *Canadian Journal Soil Science*. – 2000, vol. 80, p. 107–115
13. Ozkutlu F., Ozturk L., Erdem H. et al. Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in durum wheat grain // *Plant and Soil*. – 2006, vol. 290, p. 323–331
14. Verloo M., Cottenie A., Landschod G. Analytical and biological criteria with to soil pollution // *Landwirtschaftliche Forschung, Kongressband*. – 1982, No. 39, p. 394–403
15. Wångstrand H. Effects of nitrogen fertilization on the cadmium concentration in winter wheat grain // *Field studies on cadmium and nitrogen uptake and distribution in shoots as related to stage of development: licentiate dissertation*. – 2005, p. 1–39
16. Wångstrand H., Eriksson J., Öborn I. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization // *European Journal of Agronomy*. – 2007, vol. 26, iss. 3, p. 209–214
17. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. *Микроэлементы в почвах и растениях*. – Москва: Мир, 1989. – 440 с.
18. Кураков В. И., Минакова О. А., Александрова Л. В. Влияние длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов в выщелоченном черноземе и продукции зерносвекловичного севооборота // *Агрохимия*. – 2006, № 11, с. 59–65

19. Крамарев С. М., Скрипник А. Н., Коваленко В. Е. и др. Агроэкологическая оценка применения минеральных удобрений в агроценозах кукурузы в условиях степной зоны Украины // Агрохимия. – 2000, № 2, с. 67–72

20. Морковкин Г. Г., Панова Е. В. Поступление тяжелых металлов и микроэлементов в организм человека с продуктами питания и влияние на здоровье населения // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы биофилы в окружающей среде. Доклады II международной научно-практической конференции (16–18 октября 2002 г.). – Семипалатинск-Казахстан, 2002, т. 2, с. 293–303

21. Никифорова Е. М., Горбунова Л. И. Эколого-геохимическая оценка последствий химизации почв западного Подмосковья // Почвоведение. – 2001, № 1, с. 105–117

22. Рейли К. Металлические загрязнения пищевых продуктов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 184 с.

ISSN 1392-3196

Žemdirbystė / Zemdirbyste / Agriculture, vol. 95, No. 2 (2008), p. 61–71

UDK 546.4/.8:633.11.324:631.8

THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE GRAINS OF DIFFERENTLY FERTILISED WINTER WHEAT CROPS

J. Lubytė, A. Antanaitis, Z. Vaišvila, J. Mažvila, T. Adomaitis, J. Arbačiauskas

Summary

This paper discusses the results of research on the impact of mineral fertiliser rates and nutrient ratio on the accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Mn and Fe) in the grain of winter wheat crops cultivated on an *Epicalcari-Endohypogleyic* and *Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol* (CMg-n-w-cap; can).

In the long-term (1971–2006) field experiment the winter wheat grains, depending on NPK fertiliser rates (90 and 180 kg ha⁻¹) and the ratios of nutrients applied, accumulated the following amounts of different HM elements: cadmium 0.02–0.06 mg kg⁻¹, lead – 0.02–0.05, nickel 0.08–0.12, chromium – 0.11–0.16, copper – 2.24–4.10, zinc – 16.1–24.9, manganese – 14.6–20.2, iron – 37.3–60.2 mg kg⁻¹. Cadmium and lead content in winter wheat grains did not exceed the MCL.

Mineral fertilisation increased the content of certain heavy metals in winter wheat grains, the correlation was statistically significant in the following cases: cadmium dependence on phosphorus fertiliser rates, copper dependence on the interaction of NK and PK fertilisers, zinc dependence on the interaction of PK fertilisers, manganese dependence on the nitrogen fertiliser rates and the interaction of NP, NK and PK fertilisers.

Cu, Fe, Mn, Cd and Zn content in the grains statistically significantly correlated with winter wheat crop fertilisation rates.

The strongest correlation between the accumulation of different elements in the produce and the winter wheat crop productivity was determined for Cd, Cr, Zn, Ni, Fe and Mn ($\eta=0,87-0,97$), medium for Cu ($\eta=0,72$) and the weakest one for Pb ($\eta=0,58$).

Key words: heavy metals, winter wheat, mineral fertilisers, concentration.