

Beata Kuziemska*, Stanisław Kalembasa*

**WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA GLEBY NIKLEM ORAZ STOSOWANIA
WAPNOWANIA I SUBSTANCJI ORGANICZNYCH NA ZAWARTOŚĆ
ŻELAZA, MANGANU I CYNKU W KUPKÓWCE POSPOLITEJ
(*DACTYLIS GLOMERATA* L.)**

**INFLUENCE OF SOIL CONTAMINATION WITH NICKEL, ORGANIC
MATERIALS ADDITION AND LIMING ON IRON, MANGANESE AND
ZINC CONTENTS AT COCKSFOOT (*DACTYLIS GLOMERATA* L.)**

Słowa kluczowe: kupkówka pospolita, wapnowanie, nikiel, nawożenie organiczne, żelazo, cynk, mangan.

Key words: cocksfoot, liming, nickel, organic fertilization, iron, zinc, manganese.

The four-year pot experiment was conducted in completely randomized design, in three replications. It included following experimental factors:

- *I – liming (without liming or liming according to 1Hh of soil applying CaCO₃);*
- *II – organic fertilization (without organic fertilization, sewage sludge from the treatment plant in Siedlce, poultry droppings (from broiler-chickens), brown coal (originating from brown coal mine in Turów));*
- *III – varied nickel rates (soil contamination with nickel) (0, 100, 200 mg Ni·kg⁻¹ soil) applying NiCl₂·6H₂O).*

*The organic fertilization was used at the introductory rate of 2g C·kg⁻¹ soil. The cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.), whose four cuts were harvested in each vegetation season, was the tested plant species. The metals contents were determined by means of ICP-AES technique. Contents of examined metals at plants in particular cuts within experimental years depended both on soil contamination with nickel, liming, and organic fertilization. The influence of nickel level in the soil on determined features, was in most cases non-univocal and depending both of study year and the metal examined. In majority, liming significantly decreased contents of all studied metals at tested plant. Both sewage sludge, and poultry*

* **Dr Beata Kuziemska, prof. dr hab. Stanisław Kalembasa – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska w Siedlcach, ul. B.Prusa 14, 08-110 Siedlce; kontakt: tel.: 25 643 12 91; e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl**

droppings made usually statistically proven increase of iron, manganese, and zinc concentrations at cocksfoot plants during the experimental period.

1. WPROWADZENIE

Zróznicowanie chemiczne właściwości gleb Polski, pogłębione bardzo często przez niewłaściwe nawożenie i zabiegi agrotechniczne, a także zanieczyszczenia atmosferyczne, są przyczyną poważnych naruszeń równowagi jonowej w środowisku przyrodniczym [Baran i in. 1997; Terelak i in. 1995]. Jednym z przykładów może być nadmierna w niektórych glebach Polski zawartość niklu, którego naturalna ilość waha się w szerokich granicach, od 1 do 50 mg·kg⁻¹, a jego źródłem jest skała macierzysta. Najbardziej narażone na zanieczyszczenie tym metalem są gleby sąsiadujące z ośrodkami przemysłowymi, jak również występujące w pobliżu większych aglomeracji miejskich [Czarnowska i in. 1994]. Zanieczyszczenie gleb i roślin niklem i innymi metalami ciężkimi może być chwilowe, występujące wtedy, jeżeli pyły zawierające metale zatrzymują się na powierzchni liści, oraz trwałe, jeżeli metale przedostają się do gleby i tam się kumulują [Krauze i Bowszyc 1997].

Toksyczność i mobilność niklu w środowisku zależy od współdziałania różnych czynników, wśród których najważniejszą rolę odgrywają:

- 1) odczyn,
 - 2) potencjał oksydacyjno-redukcyjny,
 - 3) aktywność mikrobiologiczna,
 - 4) zawartość substancji organicznej
- oraz
- 5) stosunki jonowe decydujące o ograniczeniu (antagonizm) lub wspomaganiu (synergizm) jego pobierania przez rośliny, w czym znaczącą rolę odgrywają takie pierwiastki, jak: azot, żelazo, wapń, fosfor [Kabata-Pendias i Pendias 1999].

Toksyczny wpływ niklu na rośliny nie jest jednakowy i jest uzależniony w dużej mierze od gatunku roślin [Koszelnik-Leszek 2001, 2002; Spiak 1993]. Objawia się ogólną chlorozą, uszkodzeniem korzeni, co w konsekwencji ogranicza pobieranie i transport składników pokarmowych do nadziemnych części roślin oraz zahamowaniem fotosyntezy i transpiracji [Brooks 1980, Prokipcak i Ormrod 1986].

Negatywny wpływ nadmiernej zawartości niklu w glebie na plonowanie i skład chemiczny roślin może być zmniejszony przez wapnowanie i nawożenie substancjami organicznymi o charakterze odpadowym [Crooke 1956, Kalembasa i Kuziemska 2006].

Celem podjętych badań było określenie wpływu zanieczyszczenia gleby niklem na tło wapnowania i zróżnicowanego nawożenia organicznego na zawartość żelaza, manganu i cynku w kupkówce pospolitej.

2. MATERIAŁ I METODY

Czteroletnie doświadczenie wazonowe przeprowadzono w latach 2004–2007 w obiekcie szklarniowym, w układzie całkowicie losowym, w trzech powtórzeniach. Uwzględniono w nim następujące czynniki:

- I – wapnowanie (bez wapnowania i wapnowanie wg 1Hh gleby ze stosowaniem CaCO_3);
- II – nawożenie organiczne (bez nawożenia organicznego, osad pochodzący z oczyszczalni ścieków w Siedlcach, kurzeniec (od brojlerów); węgiel brunatny (pochodzący z kopalni węgla brunatnego w Turowie);
- III – zróżnicowane dawki niklu (zanieczyszczenie gleby niklem – 0, 100, 200 $\text{mg Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby poprzez stosowanie $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Wazono o pojemności 15 dm^3 napełniono utworem glebowym o masie 10 kg i w czasie sezonu wegetacyjnego utrzymywano wilgotność na poziomie 60% połowej pojemności wodnej. Utwór glebowy użyty w doświadczeniu był pobierany z warstwy ornej 0–20 cm gleby płowej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego. Przed założeniem doświadczenia oznaczono pH w roztworze KCl ($1\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), które wynosiło 5,6 oraz zawartość makroelementów: azotu ogółem $0,98\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby oraz węgla organicznego $7,9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Zawartość fosforu i potasu przyswajalnego wynosiła odpowiednio 69 i $75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. W utworze glebowym oznaczono również całkowitą zawartość niklu, żelaza, cynku i manganu, które wynosiły odpowiednio: Ni – 5,67; Fe – 1421; Zn – 17,35; Mn – $47,92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby.

Nawożenie organiczne stosowano w dawce wprowadzającej do gleby $2\text{ g C}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Rośliną testową była trawa – kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata L.*) – w której w każdym sezonie wegetacyjnym zbierano cztery pokosy. Po zebraniu poszczególnych pokosów rośliny testowej próby wysuszono w celu oznaczenia zawartości suchej masy i zmielono w młynku laboratoryjnym. W celu oznaczenia zawartości badanych metali próbki materiału roślinnego spopielono w piecu muflowym, w temperaturze 450°C . Następnie, aby strącić krzemionkę oraz rozpuścić węglany i tlenki, próby zalano roztworem HCl (1:1) i odparowano do sucha na łaźni piaskowej. Tak przygotowany „popiół czysty” rozpuszczono w 10-procentowym roztworze HCl.

Do oznaczenia omawianych pierwiastków zastosowano metodę ICP-AES (atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzoną indukcyjnie).

Wyniki badań opracowano statystycznie analizą wariancji z wykorzystaniem rozkładu F-Fishera-Snedecora, według programu F.R. Anal.var 4.1., a wartość $\text{NIR}_{(0,05)}$ wyliczono stosując test Tukey'a. W celu znalezienia związków między badanymi w pracy cechami przeprowadzono również analizę korelacji liniowej.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowane w doświadczeniu wazonowym materiały organiczne były zróżnicowane pod względem składu chemicznego (tab.1), a w związku z tym ilości żelaza, cynku i manganu wprowadzone wraz z nimi do gleby były różne. Z osadem pochodzącym z oczyszczalni ścieków w Siedlcach wprowadzono do gleby: 58,48 mg·kg⁻¹ gleby Fe; 6,88 mg·kg⁻¹ gleby Zn oraz 1,58 mg·kg⁻¹ gleby Mn; z kurzeńcem – 8,52 mg·kg⁻¹ gleby Fe; 1,30 mg·kg⁻¹ gleby Zn oraz 1,79 mg·kg⁻¹ gleby Mn, a z węglem brunatnym tylko 3,34 mg·kg⁻¹ gleby Fe; 0,063 mg·kg⁻¹ gleby Zn oraz 0,130 mg·kg⁻¹ gleby Mn.

Tabela 1. Skład chemiczny materiałów organicznych stosowanych w doświadczeniu

Table 1. Chemical composition of organic material used in pot experiment

Składnik	Materiały organiczne		
	osad z Siedlec	kurzeniec	węgiel brunatny
	(g·kg ⁻¹ s.m.)		
C	371	399,1	541
N	60,5	16,8	4,0
P	31,17	23,6	0,11
K	4,28	20,0	0,84
Ca	39,6	39,2	5,18
Mg	8,42	6,96	2,33
	(mg·kg ⁻¹ s.m.)		
Zn	1276,8	295,6	17,16
Fe	10850	1700	902
Mn	292	350	35,2
Sucha masa	180	400	850

W pierwszym roku prowadzenia badań na obiektach, na których zastosowano większe ilości niklu nie uzyskano plonu, a w związku z tym rok ten potraktowano jako wstępny. W niniejszym opracowaniu skupiono się na rezultatach uzyskanych w trzech następnych latach prowadzenia doświadczenia, przy czym zawartość wszystkich badanych metali w roślinie przedstawiono jako średnie zawartości w poszczególnych latach badań. W całym doświadczeniu, w kolejnych latach badań, biomasa kupkówki pospolitej zawierała zbliżone ilości żelaza (tab. 2), przy czym najmniej tego pierwiastka stwierdzono w III roku doświadczenia (128 mg Fe·kg⁻¹ s.m.) a najwięcej w roku drugim (138 mg Fe·kg⁻¹ s.m.). Zastosowane wapnowanie spowodowało zmniejszenie ilości omawianego pierwiastka w roślinie testowej, przy czym istotność różnic wykazano w pierwszym i trzecim roku prowadzenia doświadczenia. We wszystkich latach prowadzenia badań w roślinach uprawianych na glebach, do których wprowadzono osad ściekowy i kurzeniec, stwierdzono większą zawartość żelaza w stosunku do roślin uprawianych na obiektach kontrolnych i tych, do których wprowadzono węgiel brunatny, co można wiązać z ich zróżnicowanym składem chemicznym i co jest zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Wołoszyka i Krzywego [1999]. W każdym roku prowadzenia doświadczenia obserwowano zmniejszenie zawartości żelaza w trawie w miarę wzrostu ilości niklu w glebie, a w pierwszym, trzecim i czwartym roku różnice te były statystycznie istotne.

Tabela 2. Zawartość Fe w biomase kupkówki pospolitej (mg·kg⁻¹ s.m.)**Table 2.** Fe content in cocksfoot (mg·kg⁻¹ D.M.)

Wapnowanie		Bez wapnowania				Ca wg 1 Hh;				Średnia
Nawożenie	Lata	dawki niklu mg·kg ⁻¹ gleby				dawki niklu mg·kg ⁻¹ gleby				
		0	100	200	średnie	0	100	200	średnie	
Bez nawożenia organicznego	2004	142	n.u.p.	n.u.p.	–	135	133	n.u.p.	–	–
	2005	141	130	112	128	135	129	86,0	117	122
	2006	128	114	110	117	117	105	100	107	108
	2007	119	111	105	112	113	112	100	108	110
Średnia		132	–	–	–	125	120	–	–	–
Osad z Siedlec	2004	188	n.u.p.	n.u.p.	–	185	129	n.u.p.	–	–
	2005	175	142	140	152	154	129	129	137	145
	2006	160	148	136	148	148	141	133	140	144
	2007	156	137	126	140	153	131	129	138	139
Średnia		170	–	–	–	160	132	–	–	–
Kurzeniec	2004	275	208	n.u.p.	–	226	172	167	178	–
	2005	175	150	143	156	141	138	119	133	144
	2006	167	149	129	148	158	139	131	143	146
	2007	170	149	129	149	160	139	117	139	144
Średnia		197	164	–	–	171	147	126	148	–
Węgiel brunatny	2004	146	n.u.p.	n.u.p.	–	139	126	125	130	–
	2005	132	142	158	144	125	143	148	139	141
	2006	132	119	110	120	118	101	100	106	113
	2007	115	112	111	113	107	103	100	103	108
Średnia		131	–	–	–	122	118	118	119	–
Średnia	2004	188	–	–	–	171	140	–	–	–
	2005	156	141	138	145	139	135	120	131	138
	2006	147	132	121	133	135	122	116	124	128
	2007	140	127	118	128	133	121	166	140	134
Średnia w doświadczeniu		158	–	–	135	144	130	–	–	133

Objaśnienia:

n.u.p. – nie uzyskano plonu, lata: 2004 2005 2006 2007

NIR_{0,05} dla wapnowania: LSD_{0,05} 13,7 n.i. 7,35 n.i.NIR_{0,05} dla nawożenia organicznego: 25,8 n.i. 13,9 12,1NIR_{0,05} dla dawek niklu: 20,2 n.i. 10,9 9,50

– nie dotyczy.

Na zawartość cynku w biomase kupkówki pospolitej (tab. 3) istotny wpływ wywierały wszystkie badane czynniki, przy czym wpływ ten był podobny jak wpływ na zawartość żelaza.

We wszystkich latach badań wapnowanie powodowało zmniejszenie zawartości omawianego metalu w kupkówce pospolitej, a istotności różnic nie wykazano tylko w 2006 r.

W pierwszym roku doświadczenia zastosowane nawożenie organiczne powodowało istotne zmniejszenie zawartości cynku w roślinie testowej, w drugim i trzecim roku prowadzenia doświadczenia nawożenie organiczne powodowało natomiast zwiększenie jego zawartości.

W roślinach uprawianych na glebach zanieczyszczonych niklem stwierdzono z wyjątkiem roku 2004 istotnie mniejszą zawartość cynku w stosunku do roślin uprawianych na glebach niezanieczyszczonych.

Tabela 3. Zawartość Zn w biomase kupkówki pospolitej ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

Table 3. Zn content in cocksfoot ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ D.M.)

Wapnowanie		Bez wapnowania				Ca wg 1 Hh				Średnia
Nawożenie	Lata	dawki niklu $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby				dawki niklu $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby				
		0	100	200	średnie	0	100	200	średnie	
Bez nawożenia organicznego	2004	51,2	n.u.p.	n.u.p.	–	40,3	47,0	n.u.p.	–	–
	2005	49,0	41,3	38,1	42,8	35,5	34,2	24,3	31,3	37,1
	2006	40,4	37,2	31,2	36,3	35,7	32,5	31,0	33,1	34,7
	2007	47,0	37,3	39,2	41,2	38,7	35,4	34,4	36,1	38,6
	Średnia	46,9	–	–	–	37,8	37,3	–	–	–
Osad z Siedlec	2004	47,6	n.u.p.	n.u.p.	–	42,1	35,7	n.u.p.	–	–
	2005	60,2	40,0	33,3	44,5	40,5	38,4	35,6	38,2	41,4
	2006	59,4	50,5	39,2	49,7	54,5	48,5	34,9	46,0	47,9
	2007	49,8	40,3	38,0	42,7	45,6	37,7	35,2	39,5	41,1
	Średnia	54,2	–	–	–	45,8	40,1	–	–	–
Kurzeniec	2004	49,7	51,5	n.u.p.	–	35,7	38,5	41,8	38,7	–
	2005	54,5	51,2	55,0	53,6	45,0	41,6	44,0	43,5	48,6
	2006	46,3	45,5	39,7	43,8	42,7	40,0	36,7	40,0	41,9
	2007	42,5	40,5	38,4	40,5	38,3	32,5	34,4	35,1	37,8
	Średnia	48,2	47,9	–	–	40,4	38,2	39,2	–	–
Węgiel brunatny	2004	49,9	n.u.p.	n.u.p.	–	38,4	20,4	31,0	29,9	–
	2005	34,2	33,0	29,7	32,3	48,5	36,6	32,7	39,2	35,8
	2006	43,4	35,0	36,8	38,4	39,7	34,4	34,5	36,2	37,3
	2007	39,5	39,9	38,3	39,2	37,5	34,6	35,2	35,1	37,1
	Średnia	41,2	–	–	–	41,0	31,5	33,4	35,1	–
Średnia	2004	49,6	–	–	–	39,1	35,4	–	–	–
	2005	49,5	41,4	39,0	43,3	42,4	37,7	34,2	38,1	40,7
	2006	47,4	42,0	36,7	42,0	43,2	39,0	34,3	38,8	40,4
	2007	44,7	39,5	38,5	40,9	40,0	35,1	34,8	36,6	38,8
	Średnia w doświadczeniu	47,8	–	–	42,1	41,2	36,8	–	–	40,0

Objaśnienia:

n.u.p. – nie uzyskano plonu, lata: 2004 2005 2006 2007
 $\text{NIR}_{0,05}$ dla wapnowania: 3,32 5,07 n.i. 3,31
 $\text{NIR}_{0,05}$ dla nawożenia organicznego: 6,28 9,59 5,96 n.i.
 $\text{NIR}_{0,05}$ dla dawek niklu: 4,92 7,52 4,67 4,90
 – nie dotyczy.

Ilość cynku w roślinach zmniejszała się wraz ze wzrostem zawartości niklu w glebie. Rozpatrując czteroletni cykl badań, stwierdzono największą ilość omawianego metalu w roślinach uprawianych w roku drugim ($40,7 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$), a najmniejszą w roślinach uprawianych w ostatnim roku cyklu ($38,8 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.).

Jak wskazują dane przedstawione w tabeli 4, zawartość manganu w biomase kupkówki pospolitej wahała się w od $42,2 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w czwartym roku badań do $49,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w roku drugim. Trawa uprawiana w roku pierwszym zgromadziła jeszcze większe ilości omawianego metalu, szczególnie nawożona materiałami organicznymi: $79,2 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. uprawiana na obiektach nawożonych osadem z Siedlec, $81,7 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. nawożona kurzeńcem i $99,5 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. nawożona węglem brunatnym.

Istotną zależność między zawartością manganu w badanej roślinie a ilością wapnia w glebie wykazano w trzech pierwszych latach badań, w których wapnowanie powodowało zmniejszanie zawartości omawianego metalu w kupkówce pospolitej. W czteroletnim cyklu badań nawożenie organiczne wpływało na zwiększenie zawartości omawianego metalu w roślinie testowej, przy czym istotność różnic stwierdzono w pierwszym, trzecim i czwartym roku uprawy. We wszystkich latach badań wraz ze wzrostem ilości niklu w glebie zwiększała się zawartość omawianego metalu w biomase kupkówki pospolitej.

Analiza współzależności potwierdzona wyliczeniami wartości współczynnika korelacji ujawniła istotne zależności między zawartością żelaza i cynku w roślinach testowych w drugim ($r=0,54^*$); trzecim ($r=0,82^{**}$) i czwartym roku badań ($r=0,51^*$).

Tabela 4. Zawartość Mn w biomase kupkówki pospolitej ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Table 4. Mn content in cocksfoot ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ D.M.)

Wapnowanie		Bez wapnowania				Ca wg 1 Hh				Średnia
Nawożenie	Lata	dawki niklu $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby				dawki niklu $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby				
		0	100	200	średnie	0	100	200	średnie	
Bez nawożenia organicznego	2004	54,3	n.u.p.	n.u.p.	–	44,4	50,7	n.u.p.	–	–
	2005	42,5	71,7	77,6	63,9	36,8	61,5	28,1	42,1	53,0
	2006	35,7	43,8	43,3	40,9	32,5	33,5	38,1	35,4	38,2
	2007	36,3	40,6	42,6	39,8	34,4	38,5	40,6	37,9	38,8
Średnia		42,2	–	–	–	37,0	46,1	–	–	–
Osad z Siedlec	2004	79,2	n.u.p.	n.u.p.	–	62,0	75,2	n.u.p.	–	–
	2005	59,1	54,5	69,2	60,9	39,6	37,0	55,3	44,0	52,4
	2006	37,7	51,3	57,5	52,1	44,4	50,8	43,2	46,2	49,1
	2007	46,5	50,3	52,0	49,6	43,2	45,6	47,3	45,4	45,4
Średnia		55,6	–	–	–	47,3	52,1	–	–	–
Kurzeniec	2004	81,7	86,6	n.u.p.	–	45,8	79,2	61,7	62,2	–
	2005	43,0	52,6	77,8	57,8	41,7	39,6	48,1	43,1	50,5
	2006	46,9	58,0	67,2	57,4	45,5	57,5	64,3	55,8	56,6
	2007	48,4	53,6	55,2	52,4	46,7	50,8	51,5	50,9	51,6
Średnia		55,0	62,7	–	–	44,9	56,8	56,4	53,0	–
Węgiel brunatny	2004	99,5	n.u.p.	n.u.p.	–	75,5	60,0	82,4	72,6	–
	2005	27,0	40,3	71,9	46,4	34,0	36,8	52,8	41,2	43,8
	2006	27,5	38,5	64,1	42,7	24,5	29,4	60,5	38,1	40,4
	2007	29,4	32,3	33,4	31,7	26,5	31,4	30,6	29,5	30,6
Średnia		45,9	–	–	–	40,1	39,4	56,6	45,1	–
Średnia	2004	78,7	–	–	–	56,9	66,3	n.u.p.	–	–
	2005	42,9	54,8	74,1	57,2	38,0	43,7	46,1	42,6	49,9
	2006	39,4	38,5	64,1	42,7	36,7	43,3	51,5	43,9	46,2
	2007	40,2	44,2	45,8	43,4	37,7	41,6	43,4	40,9	42,2
Średnia w doświadczeniu		50,3	–	–	47,8	42,3	45,6	–	–	46,2

Objaśnienia:

n.u.p. – nie uzyskano plonu, lata: 2004 2005 2006 2007
 $\text{NIR}_{0,05}$ dla wapnowania: 3,56 6,89 3,67 n.i.
 $\text{NIR}_{0,05}$ dla nawożenia organicznego: 6,73 n.i. 6,93 4,75
 $\text{NIR}_{0,05}$ dla dawek niklu: 5,28 10,02 6,43 3,72
 – nie dotyczy.

Reasumując, należy stwierdzić, że zarówno wapnowanie i zróżnicowane nawożenie organiczne, jak i zanieczyszczenie gleby niklem, w sposób istotny wpływały na zawartość żelaza, cynku i manganu w biomase kupkówki pospolitej w latach prowadzenia badań.

Wapnowanie powodowało zmniejszenie zawartości analizowanych metali w roślinie testowej, co jest zgodne z wynikami uzyskanymi przez innych autorów [Jasiewicz i Antoniewicz 2002, Lipiński Lipińska 2001], którzy wykazali, że wapnowanie ogranicza pobieranie metali ciężkich przez rośliny na skutek utworzenia połączeń trudno rozpuszczalnych.

Zastosowanie osadu ściekowego oraz kurzeńca powodowało w większości przypadków zwiększenie zawartości wszystkich omawianych pierwiastków w biomase kupkówki pospolitej, co należy wiązać z tym, że z osadem ściekowym i kurzeńcem wprowadzono do gleby największą ilość tych pierwiastków. Podobne zależności otrzymali w swoich badaniach Wołoszyk i Krzywy [1999].

Wzrastające ilości niklu w glebie powodowały zmniejszenie zawartości żelaza i cynku w kupkówce pospolitej oraz zwiększenie zawartości manganu.

Otrzymane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi, których autorzy [Kabata-Pendias i Pendias 1999], podają, że na toksyczność niklu duży wpływ wywierają inne metale ciężkie.

4. WNIOSKI

1. We wszystkich latach badań wapnowanie powodowało zmniejszenie ilości żelaza, cynku i manganu w biomase kupkówki pospolitej.
2. Zastosowanie osadu ściekowego oraz kurzeńca spowodowało zwiększenie zawartości wszystkich badanych metali w roślinie testowej w latach prowadzenia doświadczenia.
3. W całym cyklu prowadzenia badań węgiel brunatny nie różnicował zawartości żelaza, cynku i manganu w biomase kupkówki pospolitej.
4. W kolejnych latach doświadczenia wzrastające ilości niklu w glebie powodowały zmniejszenie ilości żelaza i cynku oraz zwiększenie ilości manganu w biomase rośliny testowej.

PIŚMIENNICTWO

- BARAN S., FLIS-BUJAK M., ŻUKOWSKA G., KWIECIEŃ J., PIETRASIK W., SZCZEPANOWSKA I., ZALEWSKI P. 1997. Formy niklu w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 448 a: 21–27.
- BROOKS R.R. 1980. Accumulation of nickel by terrestrial plants. In: Niagru J.O. ed: Nickel in the environment New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley and Sons: 407–429.
- CROOKE W.M. 1956. Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. Soil Sci, 81:269–276.

- CZARNOWSKA K., GWOREK B., SZAFRANEK A. 1994. Akumulacja metali ciężkich w glebach i warzywach korzeniowych z ogródków działkowych dzielnicy Warszawa-Mokotów. *Rocz. Glebozn.* XLV, 1/2: 45–54.
- JASIEWICZ CZ., ANTONKIEWICZ J. 2002. Wpływ odczynu na pobieranie metali ciężkich przez rośliny. *Zesz. Probl. Post Nauk Rol.* 482:215–223.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 399.
- KALEMBASA S., KUZIEMSKA B. 2006. Wpływ zanieczyszczenia gleby nikiem na plon kupki pospolitej. *Zesz. Probl. Post Nauk Rol.* 512: 297–304.
- KOSZELNIK-LESZEK A. 2001. Odmianowa reakcja roślin na podwyższone zawartości niklu w glebie. *Zesz. Nauk AR we Wrocławiu, Rolnictwo* 80:9–36.
- KOSZELNIK-LESZEK A. 2002. Dynamika pobierania niklu przez dwie odmiany jęczmienia jarego. *Rocz. Glebozn. L II* 1/2: 41–49.
- KRAUZE A., BOWSZYC T. 1997. Rozmieszczenie kadmu dodawanego do gleby w doświadczeniu wazonowym. *Zesz. Probl. Post Nauk Rol.*, 448b: 131–137.
- LIPIŃSKI W., LIPIŃSKA H. 2001. Oddziaływanie materii organicznej i odczynu na zawartość metali ciężkich w glebach i roślinach użytków zielonych. *Zesz. Probl. Post Nauk Rol.* 479:187–192.
- PROKIPCAK B., ORMROD D.P. 1986. Visible injury and growth responses of tomato and sayabean to combinations of nickel, copper and ozone. *Water, Air, Soil Pollut* 27 (3–4): 329–340.
- SPIAK Z. 1993. Określenie granicy toksyczności niklu dla pszenicy jarej. Chrom, nikiel i glin w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. *Wyd. Ossolineum*: 153–158.
- TERELAK H., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., STUCZYŃSKI T., BUDZYŃSKA K. 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post Nauk Rol.* 418:45–61.
- WOŁOSZYK CZ., KRZYWY E. 1999. Badania nad rolniczym wykorzystaniem osadów ściekowych z oczyszczalni komunalnych w Goleniowie i Nowogardzie. Cz. II. Skład chemiczny życicy trwałej nawożonej osadami i kompostami z osadów ściekowych. *Agricultura* 77. *Zesz. Nauk AR w Szczecinie*: 393–399.