

WPLYW WAPNOWANIA I DODATKU MATERIAŁÓW ORGANICZNYCH
NA ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH METALI W KUPKÓWCE POSPOLITEJ
UPRAWIANEJ NA GLEBIE ZANIECZYSZCZONEJ NIKLEM*

Beata Kuziemska, Dorota Kalembasa, Stanisław Kalembasa

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: bak.kuz@interia.opl

Streszczenie. W dwuletnim doświadczeniu wazonowym badano wpływ wapnowania i stosowania odpadowych materiałów organicznych – słomy i węgla brunatnego na zawartość miedzi, cynku i żelaza w kupkówce pospolitej uprawianej na glebie w różnym stopniu zanieczyszczonej nikiem. W I roku badań wapnowanie niejednoznacznie różnicowało zawartość metali w roślinach testowych, natomiast w roku II spowodowało wyraźne ich obniżenie. Dodanie słomy i węgla brunatnego spowodowało wzrost zawartości Cu i Fe w roślinach testowych w obu latach badań oraz Zn w II roku eksperymentu. Nie wykazano wpływu zróżnicowanej zawartości Ni w glebie na zawartość Cu i Zn w biomacie roślin testowych w obu latach badań. Antagonizm jonowy wykazano tylko między Ni i Fe.

Słowa kluczowe: nikiel, miedź, cynk, żelazo, węgiel brunatny, słoma, wapnowanie, kupkówka pospolita

WSTĘP

Problem zanieczyszczenia środowiska jest zagadnieniem bardzo ważnym, ponieważ każdego roku wzrasta ilość substancji mogących to zanieczyszczenie powodować (pyły z opadów przemysłowych, środki chemiczne stosowane w rolnictwie, gospodarstwach domowych, rozwój przemysłu wydobywczego i motoryzacyjnego) (Jasiewicz i in. 2010). Źródłem zanieczyszczenia środowiska, szczególnie metalami ciężkimi mogą być również odpadowe materiały organiczne stosowane do nawożenia gleb (osady ściekowe, komposty).

Metale ciężkie, są tymi elementami które z racji swojej trwałości (są pierwiastkami, a więc nie ulegają rozkładowi i biodegradacji) odgrywają dużą rolę w środowisku i mogą być odpowiedzialne za jego degradację (Maciejewska i in. 2009, Kabata-

*Praca finansowana z projektu badawczego NN 310 1521 35 realizowanego w latach 2008-2012.

Pendias i Pendias 1999). Pierwiastkom tym przypisuje się rolę aktywatorów lub czynników hamujących procesy życiowe. W zależności od ich stężenia, stopnia utlenienia i powinowactwa do tworzenia związków kompleksowych mogą być one toksyczne dla organizmów żywych (Kalembasa i in. 2010, Kuziemska i Kalembasa 2010). Pobieranie metali ciężkich przez rośliny uzależnione jest między innymi od pH gleby, jej składu granulometrycznego, zawartości substancji organicznej, zawartości przyswajalnych form metali, gatunku, a nawet odmiany rośliny, jak również obecności w glebie innych metali, które mogą być w relacjach antagonistycznych lub synergistycznych (Drażkiewicz 1994, Nakonieczny 2007). Odczyn gleby (wartość pH) jest kluczowym czynnikiem wpływającym na formę, w jakiej metale ciężkie występują w środowisku glebowym oraz określającym ich dostępność dla roślin. Obniżenie odczynu gleby do lekko kwaśnego i kwaśnego powoduje wzrost stężenia w roztworze glebowym dostępnych dla roślin metali ciężkich i podwyższenie wskaźnika ich akumulacji w roślinach (Sady i Smoleń 2004).

Jednym z metali ciężkich, którego ilość w środowisku systematycznie wzrasta jest nikiel, wykorzystywany między innymi w przemyśle ciężkim, jak też coraz częściej w innych działach gospodarki (Campel i Nickel 2006). W niewielkich ilościach wpływa korzystnie na wzrost roślin (aktywuje niespecyficzenie niektóre enzymy cyklu cytrynianowego, jest też aktywatorem wielu etapów metabolizmu azotanowego, uczestniczy w transporcie azotu z korzeni do części nadziemnych roślin, wpływa na proces biologicznej redukcji azotu cząsteczkowego z powietrza). Pierwiastek ten pobierany w nadmiarze zakłóca proces fotosyntezy, równowagę jonową oraz pobieranie innych jonów przez rośliny (Kuziemska 2009, Kalembasa i in. 2014). Z powodu swej potencjalnej toksyczności, trwałości w środowisku i wysokiego współczynnika bioakumulacji nikiel znalazł się w II Wykazie Komisji Europejskiej (Dyrektywa o substancjach toksycznych). World Health Organization (WHO) zakwalifikowała związki niklu do tzw. grupy I – rakotwórczy dla człowieka, a nikiel metaliczny – do grupy 2B – możliwie rakotwórczy dla człowieka (Eisler 2000). Włączony w nadmiarze w łańcuch troficzny stanowi zagrożenie dla zdrowia zwierząt i człowieka, ze względu na swoje działanie tetragenne, mutagenne i kancerogenne (Molas 2010). Szczególnie niebezpieczny zarówno dla ludzi, roślin jak i zwierząt jest kation Ni^{2+} , występujący w wielu solach kwasów mineralnych i organicznych.

W układach biologicznych nikiel wykazuje wiele interakcji z innymi pierwiastkami. Destrukcyjne oddziaływanie Ni na DNA jest hamowane między innymi przez wapń, magnez, miedź, mangan, cynk. Interakcje niekompetencyjne (niekonkurencyjne) niklu stwierdzono w przypadku 13 pierwiastków, a kompetencyjne – z cynkiem, kobaltem, miedzią, wapniem, żelazem. Zaobserwowano także synergizm w toksyczności Ni z następującymi pierwiastkami: arsen, chrom, cynk, kadm, miedź, ołów i rtęć. Eisler (2000) i Nakonieczny (2007) podają, że

zastąpienie niklem takich jonów jak wapniowy, magnezowy czy cynkowy wywołuje zróżnicowane oddziaływanie na aktywność wielu enzymów zwierząt np. trawiennych.

Celem badań była ocena wpływu stosowania wapna i materiałów organicznych (słomy i węgla brunatnego) na zawartość miedzi, cynku i żelaza w kupkówce pospolitej (*Dactylis glomerata* L.), uprawianej na podłożu, do którego wprowadzono zróżnicowaną ilość niklu.

MATERIAŁ I METODY

Dwuletnie doświadczenie wazonowe, przeprowadzono w obiekcie doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, w latach 2009-2010, w 4 powtórzeniach. Uwzględniono w nim następujące czynniki: I – wapnowanie (wapń w formie CaCO_3): 0 Ca (obiekty bez wapnowania), obiekty z dawką Ca wyliczoną wg 1 Hh gleby (wprowadzono 20 g CaCO_3 do wazonu); II dodatek odpadowych materiałów organicznych wg kryteriów rolniczych: obiekty kontrolne (0) – bez stosowania tych materiałów; obiekty z dodatkiem słomy żytniej, w dawce $1,33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby; obiekty z dodatkiem węgla brunatnego w dawce $13,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby; III – zanieczyszczenie gleb niklem (w formie wodnego roztworu $\text{NiSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$): obiekty kontrolne (0) – bez dodatku niklu oraz z dodatkiem w ilości 75, 150 i $225 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby.

Wazonny (o pojemności 10 dm^3) napełniono 15 kg gleby o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (pobrano z poziomu próchnicznego gleby płowej spiaszczonej – *Albic Luvisol*), o odczynie kwaśnym ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,5$), o zawartości: N $0,98 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, C_{org} $7,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, fosforu przyswajalnego $69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, potasu przyswajalnego $75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, niklu $5,67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, miedzi $2,14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, cynku $16,42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, żelaza $2064 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wapnowanie, dodatek materiałów organicznych (słomy żytniej pociętej na siewkę i miału węgla brunatnego z Kopalni Węgla Brunatnego w Turowie) oraz dawki niklu, zastosowano do gleby jednorazowo w listopadzie 2008 roku. Wazonny umieszczono w nieogrzewanej hali wegetacyjnej i przez okres zimowy nie podlewano. Wiosną 2009 roku wysiano kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.). W pierwszym (2009) i drugim (2010) roku doświadczenia zebrano po cztery odrosty, w odstępie co 30 dni. Trawę wysiewano (do tej samej gleby w wazonach) każdego roku prowadzenia badań. W okresie wegetacyjnym utrzymano wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej. W słomie żytniej i węglu brunatnym (przed założeniem doświadczenia) oznaczono: azot ogólny, metodą Kjeldahla, węgiel w związkach organicznych (C_{org}), metodą oksydacyjno-miareczkową. Zawartość ogólną miedzi, cynku i żelaza w glebie, materiałach organicznych i próbkach roślinnych oraz zawartość ogólną niklu w glebie, słomie i węglu brunatnym oznaczono metodą atomowej

spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie wzbudzoną, na aparacie firmy Perkin-Elmer, Optima 3200RL, po wcześniejszej mineralizacji materiałów „na sucho”.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wpływ badanych w eksperymencie czynników na plonowanie oraz zawartość azotu, fosforu i siarki w biomacie kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.) przedstawiono we wcześniejszym opracowaniu (Kalembasa i in. 2014). Rezultaty przedstawione niniejszym opracowaniu dotyczą wpływu wapnowania i stosowania materiałów organicznych – słomy i węgla brunatnego na zawartość miedzi, cynku i żelaza w biomacie trawy uprawianej na glebie zanieczyszczonej niklem. Uzyskane wyniki są dość trudne w interpretacji, ponieważ w obu latach badań na niektórych obiektach nawozowych (tam gdzie wprowadzono do gleby dużą ilość niklu) nie uzyskano plonu.

Zastosowane w doświadczeniu materiały organiczne były zróżnicowane pod względem składu chemicznego (tab. 1). Ze słomą wprowadzono do gleby następujące ilości badanych metali ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby): Cu – 0,006, Zn – 0,025, Fe – 0,132. Ilości te wprowadzone z węglem brunatnym wyniosły ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby): Cu – 0,114, Zn – 0,194, Fe – 5,149.

Tabela 1. Skład chemiczny słomy i węgla brunatnego zastosowanych w doświadczeniu
Table 1. Chemical composition of straw and lignite applied in the experiment

Składnik Component	Słoma żytnia – Rye straw	Węgiel brunatny – Lignite
	Zawartość – Content	
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy – $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry matter	
Sucha masa Dry matter	850	850
C	432	541
N	4,22	4,0
	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy – $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry matter	
Fe	116,8	1340
Zn	22,05	17,16
Cu	5,02	10,12
Ni	3,84	5,10

Zawartość miedzi w kupkówce pospolitej w obu latach eksperymentu była zbliżona i w I roku wahała się od 1,16 do 6,41 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a w roku II od 1,08 do 6,24 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 2-3).

Tabela 2. Zawartość miedzi ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w kupkówce pospolitej w I roku doświadczenia wazonowego**Table 2.** Copper content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.) in coksfoot in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy Cuts	Obiekty bez wapnowania Treatment without liming				Obiekty wapnowane Treatment with liming			
		Dawki niklu ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) – Doses of nickel ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	4,25	–	–	–	1,55	1,23	–	–
	II	2,09	–	–	–	4,85	4,97	6,41	–
	III	1,30	–	–	–	4,79	4,48	5,49	–
	IV	1,16	–	–	–	4,90	4,76	5,01	–
	Średnie – Mean	2,20	–	–	–	4,02	3,86	–	–
Słoma żytnia Rye straw	I	1,74	–	–	–	4,42	2,78	1,53	–
	II	2,46	2,19	–	–	3,43	1,61	3,56	3,53
	III	2,62	6,44	–	–	5,12	3,09	3,66	3,21
	IV	2,70	5,08	–	–	5,17	3,25	3,75	3,50
	Średnie – Mean	2,38	–	–	–	4,53	2,68	3,12	–
Węgiel brunatny Lignite	I	4,84	4,85	–	–	5,96	4,98	2,47	1,15
	II	3,46	1,86	4,33	–	5,24	4,13	1,39	3,02
	III	2,25	4,25	3,99	–	5,37	5,28	3,61	3,11
	IV	1,79	3,98	4,28	–	6,15	4,56	3,74	3,53
	Średnie – Mean	3,08	3,73	–	–	5,68	4,74	2,80	2,70
Średnie z obiektów Mean for treatments	2,55	–	–	–	4,74	3,76	–	–	

„–” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

Stwierdzono, że wapnowanie spowodowało wzrost zawartości omawianego metalu w roślinach zebranych w I roku doświadczenia, szczególnie w tych, które uprawiano na obiektach, które zanieczyszczono Ni, natomiast w II roku badań wpływ wapnowania był odwrotny i kupkówka z obiektów wapnowanych zawierała mniej miedzi niż zebrana z obiektów kontrolnych. Podobne rezultaty uzyskał Trawczyński (2009), który stwierdził stopniowe unieruchamianie metali w glebie pod wpływem wzrostu wartości pH roztworu glebowego, na skutek tworzenia trudno rozpuszczalnych wodorotlenków.

W obu latach prowadzenia doświadczenia wazonowego trawa zebrana z obiektów gdzie stosowano słomę i węgiel brunatny zawierała więcej miedzi, w stosunku do zebranej z obiektów kontrolnych. Związane jest to ze składem chemicznym stosowanym w eksperymencie materiałów organicznych. Wraz ze słomą wprowa-

dzono do gleby $0,006 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, a z węglem brunatnym ponad 20 razy więcej tego pierwiastka – $0,114 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Wpływ zróżnicowanej ilości niklu w glebie, na omawiana cechę, w obu latach badań był niejednoznaczny, bez wyraźnych tendencji, co jest zgodne z wcześniejszymi uzyskanymi rezultatami (Kuziemska 2009, Kalembasa i in. 2011) oraz uzyskanymi przez Antonkiewicz (2007).

Tabela 3. Zawartość miedzi ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w kupkówce pospolitej w II roku doświadczenia wazonowego

Table 3. Copper content (mg kg^{-1} d.m.) in cokesfoot in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy Cuts	Obiekty bez wapnowania Treatment without liming				Obiekty wapnowane Treatment with liming			
		Dawki niklu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) – Doses of nickel (mg kg^{-1} soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	2,00	1,68	2,19	–	1,21	0,90	1,44	1,51
	II	3,12	2,94	2,80	–	2,59	2,08	2,06	1,78
	III	4,01	3,12	2,08	–	2,90	2,17	1,99	1,93
	IV	4,69	1,83	1,16	–	2,29	2,04	1,44	2,04
Średnie – Mean		3,46	2,14	2,14	–	2,25	1,80	1,73	1,82
Słoma żytnia Rye straw	I	2,82	1,95	2,45	–	1,72	1,08	1,46	1,20
	II	3,92	3,40	3,17	–	3,59	3,12	3,01	3,78
	III	4,39	4,84	4,29	–	3,93	3,60	3,38	4,73
	IV	4,59	2,98	2,83	–	2,88	1,75	1,92	1,88
Średnie – Mean		3,93	3,29	3,19	–	3,03	2,39	2,39	2,90
Węgiel brunatny Lignite	I	5,18	3,91	4,84	–	2,70	1,65	1,95	2,17
	II	4,58	4,41	4,36	–	4,20	4,05	3,98	4,36
	III	6,24	4,47	4,18	–	5,48	3,82	3,16	5,72
	IV	4,78	3,26	2,88	–	4,28	2,85	2,37	2,62
Średnie – Mean		5,20	4,02	4,06	–	4,16	3,11	2,86	3,71
Średnie z obiektów Mean for treatments		4,20	3,15	3,14	–	3,14	2,43	2,33	2,81

„–” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

Zawartość cynku w biomacie kupkówki pospolitej zebranej w I roku badań wahała się w szerokich granicach od $6,63$ do $43,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a w roku II od $10,50$ do $76,70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i zależała zarówno od wapnowania jak i odpadowych materiałów organicznych (tab. 4-5).

Tabela 4. Zawartość cynku ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w kupkowiec pospolitej w I roku doświadczenia wazownowego**Table 4.** Zinc content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in coksfoot in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy Cuts	Obiekty bez wapnowania Treatment without liming				Obiekty wapnowane Treatment with liming			
		Dawki niklu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) – Doses of nickel ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	21,70	–	–	–	17,20	11,50	–	–
	II	8,42	–	–	–	12,45	15,14	14,23	–
	III	8,06	–	–	–	10,94	11,02	11,61	–
	IV	10,10	–	–	–	10,40	10,50	12,12	–
Średnie – Mean		12,07	–	–	–	12,75	12,00	–	–
Słoma żytnia Rye straw	I	8,63	–	–	–	22,80	16,20	10,70	–
	II	13,80	26,00	–	–	9,80	6,64	6,63	4,62
	III	10,90	26,60	–	–	9,62	7,85	8,56	5,92
	IV	11,90	24,00	–	–	10,81	7,00	7,62	5,45
Średnie – Mean		11,31	–	–	–	13,26	9,42	8,38	–
Węgiel brunatny Lignite	I	43,00	16,00	–	–	27,90	21,30	18,52	12,12
	II	7,87	16,00	17,50	–	13,61	14,60	14,00	7,44
	III	12,10	10,10	16,80	–	11,74	12,10	17,81	12,21
	IV	10,70	12,30	14,10	–	11,60	10,90	13,00	11,00
Średnie – Mean		18,42	13,60	–	–	16,23	14,70	15,83	10,69
Średnie z obiektów Mean for treatments		13,93	–	–	–	14,08	12,00	–	–

„–” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

W I roku badań wapnowanie niejednoznacznie różnicowało zawartość omawianego metalu w trawie (z tendencją do wzrostu jego zawartości), natomiast w roku II powodowało zmniejszenie jego zawartości co jest związane z powolnymi przemianami zastosowanego węgla wapnia w glebie i tworzeniem przez cynk związków trudno rozpuszczalnych, nieprzyswajalnych przez rośliny (Kabata-pendias i Pendias 1999, Antonkiewicz 2007, Jasiewicz i in. 2010).

W roślinach zebranych w pierwszym roku badań, z obiektów, gdzie zastosowano słomę stwierdzono mniejszą ilość cynku (prawdopodobnie sorpcja biologiczna spowodowała unieruchomienie badanego metalu), a gdzie stosowano węgiel brunatny większą jego ilość, niż w roślinach zebranych z obiektów kontrolnych. Jednocześnie wraz z węglem brunatnym wprowadzono do gleby około 8,8 razy więcej badanego metalu niż ze słomą.

Tabela 5. Zawartość cynku ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w kupkówce pospolitej w II roku doświadczenia wazowego**Table 5.** Zinc content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in coksfoot in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy Cuts	Obiekty bez wapnowania Treatment without liming				Obiekty wapnowane Treatment with liming			
		Dawki niklu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) – Doses of nickel ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	27,25	19,25	27,00	–	25,20	31,35	23,75	23,05
	II	23,15	19,35	24,90	–	26,00	21,60	23,25	25,20
	III	25,00	18,90	29,70	–	23,10	22,10	26,90	19,60
	IV	39,50	33,40	46,90	–	28,40	27,10	31,00	28,50
Średnie – Mean		28,72	22,72	32,12	–	25,67	23,04	26,22	24,09
Słoma żytnia Rye straw	I	36,55	33,60	32,20	–	28,90	30,85	22,80	23,05
	II	28,50	31,25	34,50	–	29,35	28,50	24,70	24,95
	III	27,00	38,30	37,25	–	30,10	21,35	24,70	23,80
	IV	37,30	40,75	51,70	–	42,50	28,10	30,05	33,00
Średnie – Mean		32,33	35,97	38,91	–	32,71	27,20	25,56	26,20
Węgiel brunatny Lignite	I	10,50	32,20	28,80	–	18,70	19,55	28,75	32,75
	II	37,60	33,60	30,60	–	20,70	21,65	24,90	31,10
	III	22,10	26,30	65,05	–	27,90	24,30	25,05	22,20
	IV	23,00	39,35	76,70	–	35,00	26,15	33,45	31,45
Średnie – Mean		23,30	32,86	50,29	–	25,58	22,91	28,09	29,38
Średnie z obiektów Mean for treatments		28,12	30,52	40,44	–	27,99	24,38	26,62	25,56

„-” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

W II roku eksperymentu zawartość omawianego metalu w kupkówki pospolitej zebranej z obiektów, na których zastosowano słomę i węgiel brunatny była większa niż w roślinach zebranych z pozostałych obiektów nawozowych, co prawdopodobnie należy wiązać z obecnością w roztworze glebowym cynku w formach rozpuszczalnych i przyswajalnych przez rośliny (ze słomą wprowadzono $0,025\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, a z węglem brunatnym $0,194\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby).

W przeprowadzonym eksperymencie nie wykazano wpływu zróżnicowanej ilości niklu w glebie na omawiana cechę.

Zawartości żelaza w biomase kupkówki pospolitej, w pierwszym roku badań wynosiły od $131,6$ do $2779,2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a w roku II od $139,5$ do $1150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 6 i 7).

Tabela 6. Zawartość żelaza ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w kupkówce pospolitej w I roku doświadczenia wazowego**Table 6.** Iron content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in coksfoot in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy Cuts	Obiekty bez wapnowania Treatment without liming				Obiekty wapnowane Treatment with liming			
		Dawki niklu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ leby) – Doses of nickel ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	385,5	–	–	–	250,3	257,6	–	–
	II	628,4	–	–	–	402,3	901,6	783,5	–
	III	305,3	–	–	–	348,0	837,0	856,0	–
	IV	452,0	–	–	–	349,0	633,0	756,0	–
Średnie – Mean		442,8	–	–	–	337,4	657,3	–	–
Słoma żytnia Rye straw	I	900,5	–	–	–	356,0	437,9	921,0	–
	II	794,7	926,0	–	–	651,6	1353,3	1285,9	596,1
	III	484,0	426,6	–	–	248,0	285,0	812,3	883,3
	IV	350,0	324,0	–	–	199,0	357,0	807,0	920,0
Średnie – Mean		532,3	–	–	–	363,65	608,3	956,55	–
Węgiel brunatny Lignite	I	131,6	1650,1	–	–	592,0	407,0	1080,2	2779,2
	II	515,6	1496,0	2049,0	–	352,3	574,7	1881,3	1223,9
	III	449,8	807,9	1192,0	–	172,3	303,3	1106,0	1056,2
	IV	442,0	770,0	943,0	–	200,5	270,0	927,0	957,0
Średnie – Mean		384,7	1181,0	–	–	329,3	388,7	1248,6	1504,1
Średnie z obiektów Mean for treatments		452,3	–	–	–	343,4	551,4	–	–

„–” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

W I roku prowadzenia badań nie wykazano jednoznacznego, ukierunkowanego wpływu wapnowania i zastosowanych materiałów organicznych na zawartość omawianego metalu w analizowanej trawie. Brak jednoznacznych rezultatów należy wiązać nie tylko ze zmianami wartości pH roztworu glebowego, czy ilością żelaza wprowadzoną wraz z materiałami organicznymi do gleby (ze słomą $0,132\text{ mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, a z węglem brunatnym $15,15\text{ mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby), ale również z tym, że na wielu obiektach nawozowych koncentracja niklu była na tyle duża w roztworze glebowym, że działała toksycznie na rośliny, prowadząc do ich obumarcia. W roku następnym wapnowanie powodowało zmniejszenie zawartości żelaza w biomacie roślin, natomiast oba odpadowe materiały organiczne jego zwiększenie.

Tabela 7. Zawartość żelaza ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w kupkówce pospolitej w II roku doświadczenia wazono-**Table 7.** Iron content (mg kg^{-1} d.m.) in cockfoot in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy Cuts	Obiekty bez wapnowania Treatment without liming				Obiekty wapnowane Treatment with liming			
		Dawki niklu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) – Doses of nickel (mg kg^{-1} soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
0	I	684,5	528,4	612,0	–	589,5	500,0	465,2	426,4
	II	700,4	621,0	715,2	–	646,0	600,4	628,2	512,6
	III	658,8	525,1	612,3	–	524,4	473,5	142,8	139,5
	IV	514,2	482,1	505,2	–	486,5	450,2	244,9	171,7
Średnie – Mean		639,5	539,2	586,2	–	561,6	506,0	370,3	312,6
Słoma żytnia Rye straw	I	1500,0	1380,0	1201,0	–	1112,0	1102,0	992,6	702,3
	II	1245,0	1112,0	997,5	–	1000,0	942,6	856,0	712,4
	III	821,5	784,2	656,8	–	620,1	466,8	213,9	193,5
	IV	914,0	669,0	746,0	–	700,4	528,2	600,4	684,0
Średnie – Mean		1120,4	986,3	900,3	–	858,1	759,9	665,7	573,0
Węgiel brunatny Lignite	I	721,8	684,6	790,4	–	656,2	514,8	604,0	692,4
	II	996,0	843,0	882,0	–	842,5	750,1	689,6	645,2
	III	956,2	888,4	714,2	–	255,4	277,4	164,2	154,5
	IV	946,0	977,3	640,6	–	900,6	805,4	577,6	427,6
Średnie – Mean		905,0	848,3	756,8	–	668,7	586,9	508,8	479,9
Średnie z obiektów Mean for treatments		895,0	791,3	747,8	–	702,8	617,6	514,9	455,2

„–” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

Wpływ zróżnicowanej ilości niklu w glebie na omawianą cechę był niejednoznaczny, ale w większości przypadków, zarówno w biomacie roślin zebranych w I, jak i II roku badań, wykazano, że ilość żelaza w roślinach jest ujemnie skorelowana z ilością niklu wprowadzoną do gleby. Może to świadczyć o opisywanych w literaturze antagonistycznych relacjach obu metali (Drażkiewicz 1994, Kuziemska 2009) i wymaga przeprowadzenia dalszych, bardziej szczegółowych badań.

W podsumowaniu przeprowadzonego dwuletniego doświadczenia wazono-owego i analiz chemicznych, stwierdzono, że zastosowane wapnowanie i odpadowe materiały organiczne – słoma i węgiel brunatny różnicowały zawartość omawianych metali w biomacie kupkówki pospolitej, co jest zbliżone z rezultatami uzyskanymi we wcześniej prowadzonych badaniach (Kalembasa i in. 2011).

Wpływ zróżnicowanej ilości niklu w glebie był zauważalny tylko w przypadku żelaza, co należy tłumaczyć prawdopodobnym antagonizmem obu metali (Kuziemska 2009).

WNIOSKI

1. W I roku eksperymentu wapnowanie niejednoznacznie różnicowało zawartość Cu, Zn i Fe w kupkówki pospolitej, natomiast w roku II powodowało ich wyraźne zmniejszenie.
2. W obu latach badań rośliny zebrane z obiektów, na których stosowano słomę i węgiel brunatny zawierały więcej Cu i Fe niż zebrane z obiektów kontrolnych.
3. Nie wykazano wpływu zróżnicowanej ilości niklu w glebie na zawartość Cu i Zn w biomacie trawy.
4. W badaniach wykazano antagonistyczne relacje pomiędzy niklem a żelazem, prowadzące do zmian w składzie chemicznym rośliny testowej.

PIŚMIENNICTWO

- Antonkiewicz J., 2007. Wpływ różnych mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych na plon i zawartość pierwiastków w mieszaninie traw z komonicą zwyczajną. Cz. II. Metale ciężkie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 520, 265-278.
- Cempel M., Nikel G., 2006. Nickel: A review of its sources and environmental toxicology. Polish J. of Environ. Stud., 15, 3, 375-382.
- Drażkiewicz M., 1994. Wpływ niklu na aparat fotosyntetyczny roślin. Wiad. Bot., 38, 1/2, 77-84.
- Eisler R., 2000. Nickel. In: Handbook of Risk Assessment – Health Hazards to human, plants and Animals. Vol. I: Metals. Boca Raton-London-New York, dewis Publishers.
- Jasiewicz Cz., Baran A., Tarnowski M., 2010. Effect of bottom sediment on content, bioaccumulation and translocation of heavy metals in maize biomass. J. Elementol., 16(2), 281-290.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kalembasa S., Kuziemska B., Jakubicka M., 2010. Wpływ wapnowania i nawożenia organicznego na zawartość żelaza, miedzi i cynku w kupkówce pospolitej uprawianej na glebie zanieczyszczonej niklem. Inżynieria Ekologiczna, 27, 92-99.
- Kalembasa S., Kuziemska B., Kalembasa D., Popek M., 2014. Wpływ wapnowania i dodatku materiałów organicznych na plonowanie oraz zawartość azotu, fosforu i siarki w biomacie kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.), uprawianej w warunkach zróżnicowanej zawartości niklu w glebie. Acta Agrophysica, 21(1), 35-50.
- Kuziemska B., 2009. Wpływ wzrastających ilości niklu w glebie na plonowanie i skład chemiczny wybranych gatunków roślin bobowatych. Rozprawa Naukowa, 102, Siedlce.
- Kuziemska B., Kalembasa S., 2010. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem przy zróżnicowanym jej odczynie i nawożeniu organicznym na zawartość żelaza, manganu i cynku w kupkówce pospolitej. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 42, 100-108.
- Maciejewska M., Wybieralski J., Brzostowska-Żelechowska D., 2009. Toksyczne metale w roślinach zbieranych z terenu i okolicy giełdy samochodowej w Szczecinie-Płoni. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 541, 297-308.

- Molas S.J., 2010. Pobieranie niklu przez rośliny kapusty (*Brassica oleracea* L.) i jego fitotoksyczność w zależności od formy chemicznej dodanej do podłoża. Rozprawy Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, 341, ss. 142.
- Nakonieczny M., 2007. Struktura i funkcjonalne przystosowania *Chrysolina pardalina* (Chrysomelidae; Coleoptera) do rozwoju na hiperakumulatorze niklu *Berkheya coddii* (Asteraceae) – studium porównawcze z *Chrysolina herbacea*. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, ss. 134.
- Sady A., Smoleń S., 2004. Wpływ czynników glebowo-nawozowych na akumulację metali ciężkich w roślinach. Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodniczych, 260-277. Wyd. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu, PL ISSN 0137-1738.
- Trawczyński C., 2009. Wpływ obornika, frakcji odpadowej węgla brunatnego oraz nawożenia mineralnego na zawartość niektórych mikroelementów w glebie i bulwach ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 541, 441-448.

EFFECT OF LIMING AND ORGANIC MATERIALS ON CONTENT
OF SELECTED METALS IN OF COCKSFOOT GROWN IN SOIL
CONTAMINATED WITH NICKEL

Beata Kuziemska, Dorota Kalembasa, Stanisław Kalembasa

Faculty of Soil Science and Agricultural Chemistry
Siedlce University of Natural Science and Humanities
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: bak.kuz@interia.opl

Abstract. In two-year pot experiment, the effect of liming and application of organic waste materials, like straw and brown coal, on the content of copper, zinc and iron in the cocksfoot grown in soil contaminated with increasing rates of artificially applied nickel was studied. In the first year of the study liming did not affect the content of metals in the test plants, while in the decrease in the concentration of these metals. Application of straw and brown coal resulted in the increase content of Cu and Fe in the test plants in both years of the study, and Zn in the second year. Varying degrees of nickel contamination did not affect the content of Cu and Zn in the biomass of the test plants both years, and it has been shown that increasing the amount of Ni in the soil resulted in decrease of Fe amount in the grass.

Key words: nickel, copper, zinc, iron, brown coal, straw, liming, cocksfoot, *Dactylis glomerata*