

WPLYW WAPNOWANIA I DODATKU MATERIAŁÓW ORGANICZNYCH
NA PLONOWANIE ORAZ ZAWARTOŚĆ AZOTU, FOSFORU I SIARKI
W BIOMASIE KUPKÓWKI POSPOLITEJ (*DACTYLIS GLOMERATA* L.),
UPRAWIANEJ W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEJ ZAWARTOŚCI
NIKLU W GLEBIE*

Stanisław Kalembasa, Beata Kuziemska, Dorota Kalembasa, Maria Poppek

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

Streszczenie. W dwuletnim doświadczeniu wazonowym oceniano wpływ wapnowania i stosowania materiałów odpadowych na plonowanie i zawartość niektórych składników pokarmowych w kupkowiec pospolitej (*Dactylis glomerata*) uprawianej przy zwiększających się dawkach niklu w glebie (75, 150, 225 mg·kg⁻¹). Wykazano, że wszystkie badane czynniki decydowały o plonowaniu tej rośliny. Stwierdzono negatywny wpływ niklu, zwłaszcza w I roku doświadczenia, objawiający się hamowaniem wzrostu i rozwoju testowej trawy, a nawet jej zamieraniem, głównie na obiektach bez wapnowania. W serii niewapnowanej, w I roku badań, toksyczność niklu była mniejsza na obiektach z dodatkiem węgla brunatnego niż słomy. W II roku uprawy kupkówki nie zebrano tylko z obiektów niewapnowanych, z dodatkiem największej dawki niklu (225 mg·kg⁻¹). Wapnowanie przeważnie zwiększało zawartość azotu, fosforu i siarki w biomacie analizowanej trawy, zwłaszcza w II roku doświadczenia. Więcej tych makroskładników stwierdzono w kupkowiec na obiektach z dodatkiem węgla brunatnego niż słomy żytniej.

Słowa kluczowe: nikiel, węgiel brunatny, słoma, wapnowanie, kupkówka pospolita

WSTĘP

Nikiel jest pierwiastkiem powszechnie występującym w środowisku przyrodniczym, w zakresie od 1-50 mg·kg⁻¹ suchej masy gleby (Jasiewicz i Antonkiewicz 1997, Kabata-Pendias i Pendias 1993, Spiak 1993, Murawska i in. 1997, Terelak i Piotrowska 1997). W warunkach naturalnych nie powoduje on zagrożenia dla orga-

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

nizmów żywych. Nikiel wchodzi w skład enzymu ureazy, aktywuje argininę i niektóre peptydazy, uczestniczy w transporcie azotu z części podziemnych do nadziemnych rośliny oraz w procesie biologicznej redukcji azotu cząsteczkowego (Kabata-Pendias i Pendias 1993, Jasiewicz i in. 1997, Spiak 1997). Nadmiar niklu wpływa na niewłaściwe funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego roślin (Drażkiewicz 1994), zaburza metabolizm składników pokarmowych (m.in. żelaza), w wyniku zachwiania równowagi jonowej w roślinach (Alloway 1995). Szatanik-Kloc (2004) podaje, cytując literaturę światową, że toksyczne ilości niklu w glebie wywołują zahamowanie wzrostu elongacyjnego korzeni roślin i ich niedorozwój; w części wegetatywnej można obserwować chlorozę, nekrozę i wczesne opadanie liści. W naturalnych warunkach glebowych ilość niklu uzależniona jest głównie od skały macierzystej. Uprzemysłowienie oraz urbanizacja, w tym produkcja odpadów komunalnych – osadów ściekowych, spowodowało zwiększenie zawartości niklu w środowisku przyrodniczym. Właściwości chemiczne niklu sprawiają, że pierwiastek ten sorbowany jest głównie przez koloidy mineralne i organiczne gleby oraz wodorotlenki żelaza i manganu. Utrudnia to naturalne przemieszczanie się związków tego pierwiastka poza zasięg systemu korzeniowego roślin. W literaturze poświęconej temu zagadnieniu podjęto próby zmniejszenia zawartości niklu w glebie. Jak wynika z badań Karczewskiej (2003) oraz Karczewskiej i in. (2008), badane sposoby – remediacja i fitoremediacja, nie dały oczekiwanego rezultatu. Przyczyną mógł być brak możliwości pobierania dużych ilości tego pierwiastka przez rośliny ze względów fizjologicznych. Przyjmując, że zawartość 1 mg każdego pierwiastka w 1 kg suchej masy gleby odpowiada około 30 kg na 1 ha, to zwiększenie jego zawartości w glebie o 10 mg·kg⁻¹ gleby spowoduje, że ilość zwiększy się do około 300 kg·ha⁻¹. Zawartość niklu w roślinach mieści się przeważnie w granicach 10-300 mg·kg⁻¹ suchej masy. Przyjmując przykładowo 200 mg tego metalu w 1 kg s.m., to potrzeba około 150 lat dla całkowitego pobrania nadmiaru tego pierwiastka (w wyniku zwiększenia jego zawartości o 10 mg·kg⁻¹, przy plonie rocznym 10 t·ha⁻¹ siana kupkówki).

Koszelnik-Leszek (2002) badając dynamikę pobierania niklu przez dwie odmiany jęczmienia jarego, podaje, że przy mniejszych wprowadzonych dawkach (30, 60, 90 mg·kg⁻¹) rośliny pobierały ten metal głównie w okresie wschody-krzewienie lub (inna odmiana) krzewienie-kłoszenie. Przy dawce większej (120 kg Ni·kg⁻¹) obie odmiany jęczmienia intensywnie pobierały nikiel aż do fazy kwitnienia.

Pobieranie niklu przez rośliny zależy głównie od jego dostępnej ilości w glebie. Najbardziej przyswajalną, ale i najbardziej toksyczną formą (w przypadku nadmiaru w roztworze glebowym) jest kation Ni²⁺. Ograniczenie pobierania przez rośliny tego kationu uzależnione, jest od fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleby, głównie od wartości pH i zawartości węgla w związkach organicznych (Kalembasa i Tengler 2004, Kalembasa i Kuziemska 2006). Zmniejszenie wartości pH oraz zmniejszenie (nawet niewielkie) ilości C_{org} powoduje zwiększenie pobierania niklu (i odwrotnie). Toksyczne działanie niklu objawia się u roślin w różnych

stadiach wzrostu i rozwoju, oraz skutkuje m.in. brakiem wschodów, a u roślin już rosnących (po przekroczeniu progowej fizjologicznej zawartości) chlorozą, wynikającą z dużej bioakumulacji niklu i równoczesnym zmniejszeniem zawartości innych jonów.

Celem badań była ocena wpływu stosowania wapnowania i materiałów organicznych na plonowanie oraz zawartość azotu, fosforu i siarki w biomase kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L), uprawianej w warunkach zróżnicowanej zawartości niklu w glebie.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe, dwuletnie, przeprowadzono w obiekcie doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, w latach 2009-2010. W schemacie doświadczenia prowadzonego w układzie całkowicie losowym, w 4 powtórzeniach, uwzględniono następujące czynniki: I – wapnowanie (wapń w formie CaCO_3): 0 Ca (obiekty bez wapnowania), obiekty z dawką Ca wg 1 Hh (wprowadzono 20g CaCO_3 do wazonu); II – dodatek odpadowych materiałów organicznych: obiekty kontrolne (0) – bez stosowania tych materiałów; obiekty z dodatkiem słomy żytniej, w dawce $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, czyli $1,33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby; obiekty z dodatkiem węgla brunatnego w dawce $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, czyli $13,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 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 75, 150 i 225 $\text{mg Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby.

Wazon (o pojemności 15 dm^3) napełniono 10 gleby kg o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (pobraną z poziomu próchnicznego gleby płowej spiaszczonej – Albic Luvisol), o odczynie kwaśnym ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,5$), o zawartości: N $0,98 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $C_{\text{org}} 7,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, fosforu przyswajalnego $69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, potasu przyswajalnego $75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, niklu $5,67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wapnowanie, dodatek materiałów organicznych (słomy żytniej pociętej na sieczkę i miału węgla brunatnego z Kopalni Węgla Brunatnego w Turowie) oraz dawki niklu, zastosowano do gleby w listopadzie 2008 roku. Wiosną 2009 roku wysiano kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.). W pierwszym (2009) i drugim (2010) roku uprawy zebrano po cztery odrosty (pokosy), co 30 dni. Trawę testową wysiewano (do tej samej gleby w wazonach) każdego roku prowadzenia badań. W okresie wegetacyjnym utrzymywano wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej oraz prowadzono systematyczną obserwację wzrostu i rozwoju testowanej trawy.

W słomie żytniej i węglu brunatnym (przed założeniem doświadczenia) oznaczono: azot ogólny, metodą Kjeldahla, po mineralizacji „na mokro” w stężonym kwasie siarkowym, w obecności mieszaniny selenowej jako katalizatora, a następnie oddestylowaniu amoniaku; węgiel w związkach organicznych (C_{org}), metodą oksydacyjno-miareczkową; zawartość ogólną fosforu, siarki i niklu, metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie wzbudzoną, na aparacie firmy Perkin-Elmer, Optima 3200RL, po wcześniejszej mineralizacji materiałów

„na sucho” w piecu muflowym, w temperaturze 450°C, i rozpuszczeniu popiołu w 10% roztworze HCl.

W biomase kupkówki pospolitej w części nadziemnej, w każdym pokosie (odroście), w I i II roku uprawy oznaczono: plon suchej masy roślin, metodą suszarkowo-wagową, do uzyskania stałej masy (w temp. 105°C); azot całkowity, metodą analizy elementarnej, na autoanalyzerze CHN, z detektorem przewodności cieplnej (IDC), Series II 2400, firmy Perkin Elmer; zawartość ogólną fosforu i siarki, metodą atomowej spektrometrii emisyjnej – jak wyżej.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowane jednorazowo do gleby w doświadczeniu wazonowym słoma żytnia i węgiel brunatny odznaczały się taką samą zawartością suchej masy (tab. 1). W słomie stwierdzono mniej węgla związków organicznych, nieco więcej azotu, 6-krotnie więcej fosforu i znacznie mniej niklu niż w węglu brunatnym. Dodatek odpadowych materiałów organicznych różnicował ilość wprowadzonych składników do gleby.

Tabela 1. Skład chemiczny słomy i węgla brunatnego zastosowanych w doświadczeniu oraz ilość składników wprowadzonych wraz z nimi do gleby

Table 1. Chemical composition of straw and lignite applied in the experiment and amounts of components introduced into the soil with them

Składnik Component	Słoma żytnia – Rye straw		Węgiel brunatny – Lignite	
	Zawartość Content	Wprowadzona ilość składnika Introduced amount of component	Zawartość Content	Wprowadzona ilość składnika Introduced amount of component
	g·kg ⁻¹	g·wazon ⁻¹ – g·pot ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·wazon ⁻¹ – g·pot ⁻¹
Sucha masa – Dry matter	850	–	850	–
C	432	0,488	541	6,616
N	4,22	0,005	4,0	0,045
P	0,64	0,001	0,11	0,001
	mg·kg ⁻¹	g·wazon ⁻¹ – g·pot ⁻¹	mg·kg ⁻¹	g·wazon ⁻¹ – g·pot ⁻¹
Ni	3,84	0,004	5,10	0,068

Dodatek zróżnicowanych dawek niklu do gleby spowodował różny stopień jej zanieczyszczenia. Zastosowanie najmniejszej dawki klasyfikowało glebę w I klasie zanieczyszczenia, a największej – w III klasie (Kabata-Pendias i Pendias 1993). Mimo wyraźnie zróżnicowanej zawartości Ni w glebie wszędzie zanotowano wschody testowanej trawy. Jednak w I roku uprawy, w serii bez wapnowania, na obiektach kontrolnych z dodatkiem poszczególnych dawek Ni stwierdzono, że rośliny wyginęły

(tab. 2). Biomase kupkówki (cztery odrosty) zebrano tylko na obiekcie bez dodatku Ni. Roślin nie zebrano również na obiektach, gdzie zastosowano słomę żytnią oraz dawkę 150 i 225 mg·kg⁻¹, a także dawką 75 mg Ni·kg⁻¹, w I odroście. Najniższy plon trawy na obiekcie kontrolnym z dodatkiem słomy (stosunek C:N = 102) można tłumaczyć przewagą procesów sorpcji biologicznej azotu. W serii bez wapnowania, z dodatkiem węgla brunatnego, rośliny wyginęły na obiektach z dawką 225 mg Ni·kg⁻¹, a przy dawce 150 mg Ni·kg⁻¹ roślin nie zebrano tylko w I odroście. Suma plonu kupkówki (poszczególnych odrostów) na obiektach z dodatkiem węgla brunatnego wyraźnie zmniejszała się pod wpływem dodatku Ni do gleby. Plon biomasy trawy na tych obiektach był zbliżony do plonu na obiekcie kontrolnym (mimo szerokiego stosunku C:N = 135). Może to sugerować, że węgiel i azot zawarte w węglu brunatnym występują w związkach stabilnych, nie ulegających tak szybko procesowi mineralizacji jak w słomie. Przeprowadzone badania wskazują, iż w I roku uprawy współdziałanie wapnowania i węgla brunatnego było najbardziej efektywne w eliminowaniu toksycznego działania Ni. W serii wapnowanej, w I roku doświadczenia (tab. 2), stwierdzono ograniczenie toksycznego działania Ni, zastosowanego w dawce 75 mg Ni·kg⁻¹. Suma plonu biomasy kupkówki była na tym obiekcie bardzo zbliżona do plonu na obiekcie, gdzie nie stosowano niklu (kontrolnym). Na obiektach z dodatkiem słomy i węgla brunatnego zanotowano niższe plony testowanej trawy, niż na obiektach kontrolnych, przy czym plonu nie zebrano w ogóle na obiekcie kontrolnym z dodatkiem największej dawki Ni.

W II roku doświadczenia zastosowane wapnowanie i odpadowe materiały organiczne bardziej ograniczyły toksyczne działanie niklu, niż w I roku. Uzyskane plony biomasy kupkówki były jednak niższe, zwłaszcza na obiektach kontrolnych oraz z dodatkiem wapna i najmniejszej dawki Ni (tab. 3). Biomasy trawy nie zebrano tylko w serii bez wapnowania na i tylko na – obiektach z największą dawką Ni. Wskazywać to może na utworzenie w glebie, pod wpływem wapnowania oraz zastosowanych materiałów organicznych, kompleksowych związków niklu o małej przyswajalności dla roślin. Na wapnowanych obiektach kontrolnych i obiektach z dodatkiem węgla brunatnego stwierdzono wyższe plony biomasy kupkówki, niż z dodatkiem słomy żytniej. Świadczyć to może o większym wpływie węgla brunatnego na zmniejszenie toksyczności niklu. Kupkówka pospolita jest rośliną wrażliwą na nadmiar niklu w glebie w porównaniu np. z fasolą i koniczyną (Kuziemska 2009). Koszelnik-Leszek (2002) stwierdziła, że plon jęczmienia jarego na obiektach z dawką 120 mg Ni·kg⁻¹ zwiększał się wraz z fazą rozwojową roślin – w fazie krzewienia był o 68%, w fazie kłoszenia o 58%, a w fazie kwitnienia o 45% niższy niż na obiekcie kontrolnym. Świadczyć to może o zwiększeniu się odporności roślin wraz z wiekiem na zanieczyszczenie gleby nikiem.

Zawartość azotu, fosforu i siarki w biomase kupkówki pospolitej (na obiektach gdzie zebrano plon) różnicowana była wpływem wapnowania, zastosowanych odpadowych materiałów organicznych i dodatku różnych dawek niklu (tab. 4-9).

Tabela 2. Plon biomasy kupkówki pospolitej (g·wazon⁻¹) w I roku doświadczenia wazonowego
Table 2. Yield of biomass of cock's foot (g pot⁻¹) in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments with liming			
		Dawki niklu (mg·kg ⁻¹ gleby) – Doses of nickel (mg kg ⁻¹ soil)				Dawki niklu (mg·kg ⁻¹ gleby) – Doses of nickel (mg kg ⁻¹ soil)			
		0	75	150	225	0	75	150	225
Obiekt kontrolny Control treatment	I	7,87	–	–	–	5,40	3,33	–	–
	II	1,90	–	–	–	5,23	5,90	1,87	–
	III	2,63	–	–	–	4,13	4,80	1,80	–
	IV	1,13	–	–	–	1,00	1,47	0,83	–
Suma – Total	13,53	–	–	–	15,76	15,50	4,50	–	–
Słoma żytnia Rye straw	I	3,60	–	–	–	6,10	5,87	1,07	–
	II	2,33	0,60	–	–	3,47	4,10	3,90	3,63
	III	2,73	0,80	–	–	3,43	3,53	3,50	2,00
	IV	1,13	1,20	–	–	1,50	1,30	1,20	0,50
Suma – Total	9,79	2,60	–	–	14,50	14,80	9,67	6,13	–
Węgiel brunatny Lignite	I	5,87	1,13	–	–	4,33	4,57	0,67	0,47
	II	3,00	2,97	0,20	–	4,17	3,80	5,43	2,40
	III	3,23	2,50	0,23	–	3,23	3,93	1,90	0,20
	IV	1,27	1,20	0,20	–	1,33	0,97	1,53	0,60
Suma – Total	13,37	7,80	0,63	–	13,06	13,27	9,53	3,67	–

„0” – obiekt bez dodatku słomy i węgla brunatnego – treatment with no addition of straw and lignite,
 „-” – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

Tabela 3. Plon biomasy kupkówki pospolitej (g·wazon⁻¹) w II roku doświadczenia wazonowego
Table 3. Yield of biomass of cock's foot (g pot⁻¹) in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments with liming			
		Dawki niklu(mg·kg ⁻¹ gleby) – Doses of nickel (mg kg ⁻¹ soil)				Dawki niklu(mg·kg ⁻¹ gleby) – Doses of nickel (mg kg ⁻¹ soil)			
		0	75	150	225	0	75	150	225
Obiekt kontrolny Control treatment	I	1,60	3,60	0,53	–	4,13	3,43	3,20	2,01
	II	3,03	3,67	1,00	–	2,60	3,80	3,43	1,82
	III	1,17	1,67	1,10	–	1,67	2,07	2,07	1,40
	IV	0,50	0,67	0,50	–	2,03	3,27	1,90	0,72
Suma – Total		6,30	9,61	3,13	–	10,43	12,57	10,60	5,95
Słoma żytnia Rye straw	I	1,87	3,70	2,27	–	2,00	2,70	3,53	2,77
	II	1,07	1,63	0,80	–	2,17	1,33	1,73	1,57
	III	1,27	2,17	0,47	–	0,60	0,67	1,30	0,50
	IV	2,13	1,90	0,57	–	0,60	0,60	2,60	0,90
Suma – Total		6,34	9,40	4,11	–	5,37	5,30	9,16	5,74
Węgiel brunatny Lignite	I	1,30	2,37	0,93	–	3,00	3,80	5,40	5,13
	II	3,70	2,00	0,80	–	3,27	2,77	1,87	0,93
	III	2,27	0,77	0,40	–	1,13	2,20	1,40	1,80
	IV	1,80	0,63	0,10	–	1,87	1,40	1,40	0,80
Suma – Total		9,07	5,77	2,23	–	9,27	10,17	10,07	8,66

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

Tabela 4. Zawartość azotu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomacie kupkówki pospolitej w I roku doświadczenia wazonowego
Table 4. Nitrogen content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in cock's foot biomass in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming						Obiekty wapnowane Treatments with liming			
		Dawkę 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		
Obiekt kontrolny Control treatment	I	2,58	–	–	–	4,30	3,83	–	–	–	–
	II	2,03	–	–	–	2,63	3,33	3,00	–	–	–
	III	2,13	–	–	–	2,00	2,05	2,90	–	–	–
	IV	2,28	–	–	–	2,91	2,97	3,27	–	–	–
Średnie – Mean	2,26	–	–	–	2,96	3,04	–	–	–	–	
Słoma żytnia Rye straw	I	3,02	–	–	–	3,64	3,17	2,87	–	–	–
	II	2,05	2,39	–	–	2,39	2,08	3,01	2,86	–	–
	III	2,92	2,35	–	–	1,80	2,01	2,03	2,70	–	–
	IV	2,57	3,19	–	–	3,11	2,65	3,23	3,25	–	–
Średnie – Mean	2,64	–	–	–	2,73	2,48	–	–	–	–	
Węgiel brunatny Lignite	I	2,44	2,33	–	–	4,19	3,06	3,35	4,17	–	–
	II	2,20	2,90	2,37	–	2,57	2,82	3,05	2,96	–	–
	III	2,12	1,88	2,24	–	1,94	2,00	2,53	2,41	–	–
	IV	2,69	3,01	2,95	–	3,08	3,24	3,31	2,82	–	–
Średnie – Mean	2,36	2,53	–	–	2,94	2,78	3,06	3,09	–	–	
Średnie z obiektów Mean for treatments	2,42	–	–	–	2,88	2,77	–	–	–	–	

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

Tabela 5. Zawartość azotu ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomacie kupkówki pospolitej w II roku doświadczenia wazonowego
Table 5. Nitrogen content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.) in cock's foot biomass in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments 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
Obiekt kontrolny Control treatment	I	2,24	2,41	2,48	–	3,59	3,39	3,63	3,82
	II	2,10	2,36	2,42	–	2,98	3,15	2,88	3,01
	III	2,07	2,20	2,29	–	2,67	2,74	2,25	2,54
	IV	2,06	2,14	2,28	–	3,06	3,17	2,74	2,81
Średnie – Mean	2,11	2,28	2,37	–	3,07	3,11	2,87	3,04	
Słoma żytnia Rye straw	I	2,49	2,59	3,00	–	3,73	3,54	3,14	3,25
	II	2,40	2,51	2,66	–	3,27	3,06	2,32	2,76
	III	2,32	2,41	2,55	–	2,86	3,00	3,03	2,98
	IV	2,30	2,25	2,15	–	3,09	3,05	3,07	3,28
Średnie – Mean	2,38	2,44	2,59	–	3,24	3,16	2,89	3,07	
Węgiel brunatny Lignite	I	2,39	2,52	2,45	–	3,60	3,28	3,01	3,67
	II	2,33	2,51	2,56	–	2,74	2,97	2,99	2,87
	III	2,24	2,20	2,43	–	2,12	2,17	2,49	2,33
	IV	2,09	2,33	2,25	–	2,28	2,35	2,74	2,84
Średnie – Mean	2,26	2,39	2,42	–	2,68	2,69	2,81	2,93	
Średnie z obiektów Mean for treatments	2,25	2,37	2,46	–	2,99	2,99	2,86	3,01	

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

Table 6. Zawartość fosforu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomasse kupkówki pospolitej w 1 roku doświadczenia wazonowego
Table 6. Phosphorus content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in cock's foot biomass in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments with liming				
		Dawki niklu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) – Doses of nickel ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil)				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	
Obiekt kontrolny Control treatment	I	3,78	–	–	–	2,79	–	–	–	–
	II	4,99	–	–	–	3,87	–	–	–	–
	III	5,46	–	–	–	4,49	–	–	–	–
	IV	5,70	–	–	–	5,08	–	–	–	–
Średnie – Mean	4,98	–	–	–	4,05	–	–	–	–	–
Słoma żytnia Rye straw	I	3,13	–	–	–	3,58	–	–	–	–
	II	4,42	3,34	–	–	3,94	3,10	–	–	–
	III	5,53	3,86	–	–	5,03	4,58	–	–	–
	IV	4,93	4,83	–	–	5,04	4,16	–	–	–
Średnie – Mean	4,50	–	–	–	4,39	–	–	–	–	–
Węgiel brunatny Lignite	I	3,72	3,57	–	–	3,56	3,30	–	–	–
	II	4,16	3,48	3,19	–	3,95	3,62	–	–	–
	III	5,66	3,27	3,45	–	5,11	4,01	–	–	–
	IV	5,86	4,20	4,09	–	5,11	4,10	–	–	–
Średnie – Mean	4,85	3,63	–	–	4,43	–	–	–	–	–
Średnie z obiektów Mean for treatments	4,77	–	–	–	4,29	–	–	–	–	–

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

Tabela 7. Zawartość fosforu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomacie kupkówki pospolitej w II roku doświadczenia wazonowego
Table 7. Phosphorus content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in cock's foot biomass in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments 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
Obiekt kontrolny Control treatment	I	2,39	2,45	2,45	–	3,10	3,07	3,17	3,75
	II	2,45	2,30	2,37	–	2,95	3,06	3,59	3,83
	III	2,46	3,66	3,65	–	3,39	3,84	3,54	3,39
	IV	2,76	3,35	3,33	–	3,28	3,08	3,83	3,83
Średnie – Mean	2,51	2,94	2,95	–	3,18	3,26	3,53	3,70	
Słoma żytnia Rye straw	I	4,09	2,33	1,72	–	2,95	3,04	2,60	3,16
	II	3,13	2,20	2,10	–	2,86	2,72	2,45	3,07
	III	3,53	3,74	3,75	–	2,89	3,15	3,60	3,10
	IV	1,92	3,10	3,69	–	3,76	2,11	2,34	2,33
Średnie – Mean	3,16	2,84	2,81	–	3,11	2,75	2,75	2,91	
Węgiel brunatny Lignite	I	3,80	3,63	2,04	–	3,27	2,59	2,15	2,98
	II	3,06	3,25	2,61	–	3,19	3,30	2,87	3,30
	III	3,62	3,50	4,11	–	3,39	4,09	3,45	3,73
	IV	2,96	3,11	4,02	–	3,16	3,55	3,30	3,65
Średnie – Mean	3,36	3,37	3,19	–	3,25	3,38	2,94	3,41	
Średnie z obiektów Mean for treatments	3,01	3,05	2,98	–	3,18	3,13	3,07	3,34	

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

Tabela 8. Zawartość siarki ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomase kupkówki pospolitej w I roku doświadczenia wazonowego
Table 8. Sulphur content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in cock's foot biomass in the 1st year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments with liming			
		Dawki niklu (mg·kg ⁻¹ gleby) – Doses of nickel (mg·kg ⁻¹ soil)							
		0	75	150	225	0	75	150	225
Obiekt kontrolny Control treatment	I	1,84	-	-	-	2,21	2,46	-	-
	II	1,82	-	-	-	2,54	2,72	2,84	-
	III	1,50	-	-	-	2,82	3,04	3,12	-
	IV	1,61	-	-	-	2,98	3,45	3,52	-
Średnie – Mean	1,69	-	-	-	2,64	2,92	-	-	
Słoma żytnia Rye straw	I	2,24	-	-	-	2,32	2,78	2,99	-
	II	2,28	2,62	-	-	2,36	2,66	3,46	3,88
	III	2,46	2,12	-	-	2,48	2,46	3,82	3,56
	IV	2,18	2,88	-	-	2,37	2,97	3,63	3,68
Średnie – Mean	2,29	-	-	-	2,38	2,72	3,47	-	
Węgiel brunatny Lignite	I	3,56	3,64	-	-	3,40	3,28	3,46	3,92
	II	3,72	3,78	3,56	-	3,11	3,46	3,52	3,84
	III	3,88	3,52	3,41	-	3,15	3,51	3,63	3,86
	IV	3,74	3,46	3,50	-	3,63	3,98	3,99	3,78
Średnie – Mean	3,73	3,60	-	-	3,37	3,56	3,65	3,85	
Średnie z obiektów Mean for treatments	2,56	-	-	-	2,80	3,07	-	-	

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

Tabela 9. Zawartość siarki ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomase kupkówki pospolitej w II roku doświadczenia wazonowego
Table 9. Sulphur content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in cock's foot biomass in the 2nd year of the pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Pokosy (odrosty) Cuts (regrowth)	Obiekty bez wapnowania Treatments without liming				Obiekty wapnowane Treatments 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
Obiekt kontrolny Control treatment	I	1,67	1,92	2,10	–	2,61	2,82	3,17	3,54
	II	1,50	1,78	2,55	–	2,67	3,09	3,12	3,74
	III	1,11	4,70	3,64	–	3,10	4,60	4,26	3,18
	IV	1,99	5,39	3,97	–	3,06	4,26	4,86	4,50
Średnie – Mean		1,57	3,45	3,06	–	2,86	3,68	3,85	3,74
Słoma żytnia Rye straw	I	2,05	2,39	2,52	–	2,15	2,61	3,79	3,20
	II	2,33	2,72	2,81	–	2,31	2,56	3,04	3,38
	III	3,34	2,29	3,94	–	2,38	3,23	4,10	2,80
	IV	2,06	3,22	3,66	–	2,95	3,65	2,24	3,42
Średnie – Mean		2,44	2,65	3,23	–	2,45	3,01	3,29	3,20
Węgiel brunatny Lignite	I	3,44	3,50	1,61	–	2,87	2,97	3,21	3,96
	II	3,56	3,66	3,42	–	3,01	3,18	3,49	3,74
	III	4,26	3,80	3,40	–	3,08	5,25	3,91	3,31
	IV	3,60	3,20	3,61	–	2,92	4,48	4,45	3,70
Średnie – Mean		3,71	3,54	3,01	–	2,97	3,97	3,76	3,68
Średnie z obiektów Mean for treatments		2,57	3,21	3,10	–	2,76	3,55	3,63	3,54

*,** – nie uzyskano plonu – no yield obtained.

Zawartość azotu w I roku doświadczenia (tab. 4) była większa w biomacie testowej trawy na wapnowanych obiektach kontrolnych ($2,88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) niż niewapnowanych ($2,42 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$); większa z dodatkiem węgla brunatnego ($2,94 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) niż słomy ($2,73 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wpływ dawek Ni był niejednoznaczny. W II roku w roślinach na wapnowanych obiektach kontrolnych stwierdzono więcej azotu ($2,99 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) niż na niewapnowanych ($2,25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (tab. 5). Na obiektach bez wapnowania zawartość tego makroskładnika była także mniejsza, w porównaniu z I rokiem. Większa zawartość azotu cechowała rośliny na obiektach (bez i z wapnowaniem) z dodatkiem słomy żytniej niż węgla brunatnego. Na obiektach bez wapnowania, z najmniejszą i średnią dawką niklu, zanotowano więcej azotu w roślinach, w stosunku do obiektu kontrolnego.

Zawartość fosforu w biomacie kupkówki pospolitej (tab. 6 i 7) była większa w I niż II roku doświadczenia. W I roku badań stwierdzono więcej tego pierwiastka w roślinach na obiektach kontrolnych niewapnowanych niż wapnowanych; więcej pod wpływem węgla brunatnego niż słomy. W II roku wapnowanie, na obiektach kontrolnych, wpłynęło na zwiększenie zawartości fosforu w biomacie testowej trawy, w stosunku do obiektów bez wapnowania. Więcej tego makroelementu zanotowano na obiektach z zastosowanym węglem brunatnym, niż słomą.

Zawartość siarki w biomacie analizowanej trawy w ciągu dwóch lat i była także różnicowana czynnikami doświadczenia (tab. 8 i 9). Wapnowanie i zanieczyszczenie gleby niklem niejednoznacznie wpłynęło na zawartość tego pierwiastka. W obydwu latach badań więcej siarki zanotowano na obiektach z dodatkiem węgla brunatnego niż słomy.

WNIOSKI

1. Plon biomasy kupkówki pospolitej w dwuletnim doświadczeniu wazonym różnicowany był wszystkimi czynnikami doświadczenia, jednak w największym stopniu ilością zastosowanego do gleby niklu.

2. Zastosowane dawki niklu ($75, 150, 225 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) powodowały zahamowanie wzrostu i rozwoju testowanej trawy, a nawet jej zamieranie, zwłaszcza w I roku doświadczenia na obiektach bez wapnowania.

3. W eliminowaniu toksycznego działania niklu, w I roku uprawy, bardziej efektywne było współdziałanie wapnowania i węgla brunatnego niż wapnowania i słomy.

4. Wapnowanie wpłynęło na zwiększenie zawartości azotu, fosforu i siarki w biomacie kupkówki, zwłaszcza w II roku doświadczenia. Więcej tych makroskładników stwierdzono po dodaniu do gleby węgla brunatnego niż słomy.

PIŚMIENNICTWO

- Alloway B.J., 1995. Heavy metals in soil. Blackie Academic & Professional, 152-174.
- Drażkiewicz M., 1994. Wpływ niklu na aparat fotosyntetyczny roślin. *Wyd. Bot.*, 38, 1-2, 77-84.
- Jasiewicz Cz., Antonkiewicz J., 1997. Zawartość niklu w glebach województwa krakowskiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 448b, 167-173.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Kalembasa S., Kuziemska B., 2006. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na plon kupkówki pospolitej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 512, 297-304.
- Kalembasa S., Tengler Sz., 2004. Rola węgla brunatnego w nawożeniu i ochronie środowiska. Monografie, 52, Wyd. AP w Siedlcach.
- Karczewska A., 2003. Perspektywy zastosowania fitoremediacji w rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 25/26, 27-54.
- Karczewska A., Spiak Z., Kabała C., Gałka B., Szopka K., Jezierski P., Kocan K., 2008. Ocena możliwości zastosowania metody wspomaganego ekstrakcji do rekultywacji gleb zanieczyszczonych emisjami hutnictwa miedzi. *Wyd. Zante, Wrocław*.
- Koszenik-Leszek A., 2002. Dynamika pobierania niklu przez dwie odmiany jęczmienia jarego. *Rocz. Glebozn.*, 53, 1-2, 41-49.
- Kuziemska B., 2009. Wpływ wzrastających ilości niklu w glebie na plonowanie i skład chemiczny wybranych gatunków roślin bobowatych. *Rozprawa Naukowa*, 102, Wyd. AP w Siedlcach.
- Murawska B., Spychaj-Fabisiak E., Janowiak J., 1997. Zawartość niklu i kadmu w różnych typach gleb użytkowanych rolniczo. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 448a, 261-268.
- Spiak Z., 1993. Określenie granicy toksyczności dla pszenicy jarej. Chrom, nikiel i glin w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. *Wyd. Ossolineum*, 153-158.
- Spiak Z., 1997. Wpływ formy chemicznej niklu na pobieranie tego pierwiastka przez rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 448a, 111-116.
- Szatanik-Kloc A., 2004. Wpływ pH i stężenie wybranych metali ciężkich w glebie na ich zawartość w roślinach. *Acta Agrophysica*, 4(1), 177-183.
- Terelak H., Piotrowska M., 1997. Nikiel w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 448b, 317-324.

EFFECT OF LIMING AND ADDITION OF ORGANIC MATERIALS
ON YIELDING AND LEVELS OF NITROGEN, PHOSPHORUS
AND SULPHUR IN BIOMASS OF COCK'S FOOT
(*DACTYLIS GLOMERATA* L.) GROWN UNDER CONDITIONS
OF VARIED CONTENT OF NICKEL IN SOIL

Faculty of Soil Science and Agricultural Chemistry
University of Life Sciences and Humanities in Siedlce
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

Abstract. A two-year pot experiment was conducted to estimate the effect of liming and application of waste materials on the yielding and on the content of certain nutrients in cock's foot (*Dactylis glomerata*) grown at increasing doses (75, 150, 225 mg kg⁻¹) of nickel in the soil. It was demonstrated that all the factors studied determined the yielding of the plant. A negative effect of

nickel was observed, especially in the 1st year of the experiment, manifested in an inhibition of the growth and development of the test grass, mainly in treatments without liming. In treatments where lignite was added to the soil in the 1st year of the experiment, the toxicity of nickel was lower than in treatments with an addition of straw. In the 2nd year of the experiment no yield of cock's foot biomass was obtained from those no-liming treatments in which the content of nickel was the highest. Liming had an effect on the content of nitrogen, phosphorus and sulphur in cock's foot biomass, especially in the 2nd year of the experiment. The levels of those macroelements were somewhat higher in treatments with an addition of lignite compared to those with rye straw.

Key words: nickel, lignite, straw, liming, cock's foot