

WPŁYW WAPNOWANIA I STOSOWANIA ODPADOWYCH MATERIAŁÓW ORGANICZNYCH NA ZAWARTOŚĆ WAPNIA I MAGNEZU W KUPKÓWCE POSPOLITEJ UPRAWIANEJ NA GLEBIE ZANIECZYSZCZONEJ NIKLEM

Beata Kuziemska¹, Paulina Klej¹, Joanna Trębicka¹, Maria Popek¹

¹ Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: bak.kuz@interia.pl

STRESZCZENIE

W doświadczeniu wazonowym badano wpływ wapnowania i dodatku do gleby odpadowych materiałów organicznych na zawartość wapnia i magnezu w kupkówce pospolitej (*Dactylis glomerata* L.), uprawianej na glebie w różnym stopniu zanieczyszczonej niklem. Analizowano rośliny czterech pokosów trawy, w trzecim roku badań. W doświadczeniu uwzględniono czynniki: 1 – zanieczyszczenie gleb niklem (0, 75, 150 i 225 mg Ni·kg⁻¹ gleby); 2 – wapnowanie (0 Ca i Ca wg 1 Hh gleby); 3 – odpadowe materiały organiczne (bez dodatku odpadowych materiałów organicznych, węgiel brunatny i słoma żytnia). Wraz ze zwiększeniem ilości niklu w glebie zmniejszyła się ilość magnezu w biomacie rośliny testowej. Zastosowane wapnowanie spowodowało wzrost średniej zawartości wapnia oraz obniżenie zawartości magnezu w kupkówce pospolitej. W badaniach nie stwierdzono istotnego wpływu wprowadzenia słomy do gleby na ilość omawianych metali w biomacie trawy, natomiast wpływ węgla brunatnego uwidocznił się zarówno w przypadku wapnia jak i magnezu (rośliny zebrane z obiektów gdzie go zastosowano zawierały średnio mniej obu makroelementów w stosunku do roślin zebranych z obiektów kontrolnych).

Słowa kluczowe: kupkówka pospolita, nikiel, wapnowanie, słoma, węgiel brunatny, wapń, magnez.

EFFECT OF LIMING AND USE OF WASTE ORGANIC MATERIALS ON THE CONTENTS OF CALCIUM AND MAGNESIUM IN COCK'S-FOOT CULTIVATED ON NICKEL-CONTAMINATED SOIL

ABSTRACT

The effect of liming and the addition to soil of waste organic materials on the contents of calcium and magnesium in cock's-foot (*Dactylis glomerata* L.) cultivated on soil contaminated to various degrees with nickel was studied in a pot culture experiment. Plants from four cuts of grass were analysed in the third year of the study. The following factors were taken into account: 1 – contamination of soils with nickel (0, 75, 150 and 225 mg N·kg⁻¹ of soil); 2 – liming (0 Ca and Ca according to Hh of soil); 3 – waste organic materials (no waste organic materials added, brown coal and rye straw). With increasing nickel content in soil, the magnesium content in biomass of the test plant decreased. The applied liming resulted in an increase in the average calcium content and a decrease in the magnesium content in cock's-foot. No significant effect of introducing straw to soil on the contents of calcium and magnesium in biomass of the grass was found, while the effect of brown coal was visible both for calcium and for magnesium (in the plants harvested from the objects to which brown coal was applied, the contents of both macroelements were, on average, lower than in the plants harvested from the control objects).

Keywords: cock's-foot, nickel, liming, straw, brown coal, calcium, magnesium.

WSTĘP

Zanieczyszczenie gleb przez czynniki antropogeniczne – spalanie paliw kopalnych, przemysł chemiczny, przemysł ciężki, rolnictwo są przyczyną naruszenia równowagi jonowej w śro-

dowisku przyrodniczym [Gębski 1998, Kuziemska i in. 2014]. Efektem jest bioakumulacja w glebach wielu substancji toksycznych, w tym metali ciężkich. Jednym z metali którego ilość w środowisku przyrodniczym systematycznie wzrasta jest nikiel [Kalembasa i Kuziemska 2006]. Jest

on jednocześnie pierwiastkiem niezbędnym, jak i toksycznym dla roślin. Pobierany w nadmiernych ilościach wpływa nie tylko na obniżenie plonu roślin uprawnych, ale również na ich wartość biologiczną. Jego nadmiar zakłóca między innymi gospodarkę wodną i mineralną roślin [Pariada i in. 2003], obniża aktywność enzymów uczestniczących w procesach fotosyntezy [Molas 2010], wywołuje stres oksydacyjny roślin [Boominathan i Doran 2002]. Rubio i in. [1994] zwracają uwagę na fakt, że metal ten zakłóca pobieranie przez roślinę wielu pierwiastków mineralnych, szczególnie Fe, Mn, Cu, Ca i Mg, jak też zmniejsza przyswajalność Ca i Mg przez niektóre gatunki roślin. Nadmierne pobieranie niklu przez rośliny z gleb zanieczyszczonych tym metalem można częściowo ograniczyć między innymi przez zabieg wapnowania oraz stosowanie materiałów organicznych [Kwiatkowska-Malina, Maciejewska 2009, 2011].

Celem pracy było ocena wpływu wapnowania oraz dodatku do gleby odpadowych materiałów organicznych (słomy i węgla brunatnego) na zawartość wapnia i magnezu w kupkówce pospolitej (*Dactylis glomerata* L.) uprawianej na glebie zanieczyszczonej nikiem.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w obiektach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach w latach 2008–2011 w układzie całkowicie losowym, w czterech powtórzeniach. Uwzględniono w nim następujące czynniki:

- 1) Zanieczyszczenie gleb nikiem (w formie wodnego roztworu $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$): 0 Ni (bez stosowania niklu); 75 mg $\text{Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby; 150 mg $\text{Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby; 225 mg $\text{Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby.
- 2) Wapnowanie (w formie CaCO_3): 0 Ca (bez wapnowania); Ca wg 1 Hh (wapnowanie w dawce wyliczonej według 1 kwasowości hydrolicznej gleby).
- 3) Odpadowe materiały organiczne : bez dodatku odpadowych materiałów organicznych (0); węgiel brunatny pochodzący z kopalni węgla Turów w dawce $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, czyli $13,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby; słoma żytnia w dawce $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, czyli $1,33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby.

Wapnowanie, dodatek odpadowego materiału organicznego (węgiel brunatny z kopalni Turów i słomę żytnią pociętą na siewkę) oraz nikiel

wprowadzono do gleby w listopadzie 2008 roku. W tak przygotowanych wazonach o pojemności 10 dm^3 , które zawierały 15 kg materiału glebowego, wiosną 2009 roku wysiano kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L), której w pierwszym (2009), drugim (2010) i trzecim (2011) roku badań zebrano po cztery pokosy (odrosty co 30 dni). W niniejszej pracy analizowano rośliny wszystkich pokosów zebrane w trzecim roku eksperymentu. Utwór glebowy użyty w doświadczeniu był pobierany z poziomu próchnicznego gleby płowej spiaszczonej – Albic Luvisol), o odczynie kwaśnym ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,5$), i zawartości: N $0,98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{C}_{\text{org}} 7,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, fosforu przyswajalnego $69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, potasu przyswajalnego $75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Całkowita zawartość niklu w omawianej glebie wynosiła $5,67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. Ogólna zawartość wapnia, magnezu i niklu w odpadowych materiałach organicznych zastosowanych w doświadczeniu wynosiła: słoma – Ca – $2,16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$; Mg – $0,94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$; Ni – $3,84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$; węgiel brunatny: Ca – $5,18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$; Mg – $2,33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$; Ni – $5,10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ Wazonu umieszczono na powietrzu, pod zadaszeniem i utrzymano w nich wilgotność na poziomie 60% PPW. Zawartość wapnia i magnezu w kupkówce pospolitej oznaczono 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 $450 \text{ }^\circ\text{C}$, i rozpuszczeniu popiołu w 10% roztworze HCl. Wyniki badań opracowano statystycznie poddając je analizie wariancji z wykorzystaniem rozkładu F-Fishera-Snedecora, za pomocą programu STATISTICA 10PI (Statsoft, Tulsa, USA), a wartość $\text{NIR}_{(0,05)}$ wyliczono wg testu Tukey’a.

OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Na skład chemiczny roślin uprawnych wpływ ma nie tylko właściwe nawożenie i sposób uprawy ale również obecność w glebie różnych jonów, szczególnie zaś metali ciężkich. W warunkach prowadzenia badań własnych średnia zawartość wapnia w biomacie kupkówki pospolitej wynosiła od 5,05 do $9,49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ (tab. 1), co jest zbieżne z rezultatami uzyskanymi przez Nogalską i Czaplę [2010] oraz wynikami wcześniej przeprowadzonego doświadczenia [Kuziemska i Kalembasa 2011].

Tabela 1. Zawartość wapnia ($\text{g kg}^{-1}\text{s.m.}$) w biomase kupkówki pospolitej
Table 1. The content ($\text{g kg}^{-1}\text{ DM}$) of calcium in the biomass of cocksfoot

Wapnowanie	Materiały organiczne	Nikiel [$\text{mg kg}^{-1}\text{ gleby}$]	Pokos				Średnia
			I	II	III	IV	
Bez Ca	bez mat. org.	0	10,40	9,37	6,12	6,14	8,01
		75	8,34	7,15	6,88	6,45	7,20
		150	10,22	10,03	6,63	6,83	8,43
		225	10,26	8,39	7,73	7,15	8,38
	słoma żytnia	0	8,37	10,03	8,19	6,63	8,30
		75	9,26	6,70	8,22	7,34	7,88
		150	8,72	9,02	7,48	6,50	7,93
		225	10,26	9,99	8,99	7,88	9,28
	węgiel brunatny	0	6,49	7,78	6,78	5,61	6,66
		75	8,70	7,17	6,45	4,91	6,81
		150	8,22	5,17	5,64	4,81	5,96
		225	6,59	4,12	5,26	4,25	5,05
Ca	bez mat. org.	0	11,48	7,97	9,19	8,03	9,16
		75	10,83	7,46	9,27	7,43	8,75
		150	7,56	7,66	9,07	7,52	7,95
		225	8,63	6,62	8,17	7,36	7,69
	słoma żytnia	0	9,29	6,89	8,83	6,97	7,99
		75	9,55	8,53	8,82	7,61	8,63
		150	10,02	6,43	7,47	7,40	7,83
		225	11,08	9,28	9,10	8,50	9,49
	węgiel brunatny	0	8,77	5,99	6,52	6,67	6,99
		75	7,57	7,12	7,00	6,60	7,07
		150	8,65	6,32	8,46	7,83	7,81
		225	8,61	5,96	7,34	7,11	7,25
Średnie dla wapnowania		bez Ca	8,82	7,91	7,03	6,21	7,49
		Ca	9,34	7,19	8,27	7,72	8,05
Średnie dla materiałów organicznych		bez mat. org.	9,71	8,08	7,88	7,11	8,19
		słoma żytnia	9,57	8,36	8,39	7,35	8,42
		węgiel brunatny	7,95	6,20	6,68	5,97	6,70
Średnie dla dawek niklu		0	9,13	8,00	7,60	6,67	7,85
		75	9,04	7,35	7,77	6,72	7,72
		150	8,90	7,44	7,46	6,81	7,65
		225	9,24	7,39	7,76	7,04	7,86
Średnio w doświadczeniu			9,08	7,55	7,65	6,81	7,77
NIR _{0,05} dla:	I pokos		II pokos		III pokos		IV pokos
Dawek niklu:	n.i.		n.i.		n.i.		n.i.
Wapnowania:	n.i.		0,503		0,351		0,241
Materiałów organicznych:	0,771		0,746		0,520		0,357

n.i. – nie istotne, not significant.

Falkowski i in. [2000] podają, że optymalna zawartość tego makroelementu w trawie powinna oscylować wokół $7 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m.}$. W badaniach własnych największą średnią zawartość omawianego pierwiastka – $9,08 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m}$ oznaczono w roślinach zebranych w pierwszym pokosie a o ponad 25% mniejszą w roślinach zebranych w pokosie czwartym.

Nie wykazano istotnego, ukierunkowanego wpływu zanieczyszczenia gleby niklem na omawiane cechę i rośliny uprawiane na glebach różnym stopniu zanieczyszczonych niklem zawiera-

ły zbliżoną ilość wapnia stosunku do roślin zebranych z gleb do których niklu nie wprowadzono. W przeprowadzonych badaniach nie potwierdzono tezy Rubdo i in. [1994], że nadmierna ilość niklu w glebie zakłóca pobieranie wapnia przez rośliny. Rozbieżności te można tłumaczyć tym, że od wprowadzenia niklu do gleby minęło ponad 3 lata i jego toksyczne działanie uległo znacznemu osłabieniu. Wpływ drugiego rozpatrywanego w badaniach czynnika – wapnowania na zawartość omawianego pierwiastka w kupkówce pospolitej ujawnił się w roślinach zebranych w drugim, trzecim i czwartym pokosie. Rośliny

zebranych w drugim pokosie z obiektów wapnowanych zawierały średnio o 9% wapnia mniej, a w trzecim i czwartym pokosie odpowiednio o 15 i 16% wapniawiecej niż zebrane z gleb niewapnowanych. Nie wykazano wpływu wprowadzenia słomy do gleby na omawianą cechę, natomiast rośliny zebrane z obiektów gdzie stosowano węgiel brunatny, niezależnie od terminu zbioru zawierały istotnie mniej wapnia niż zebrane z obiektów kontrolnych, średnio dla pokosów o 18,2%.

Zawartość magnezu w biomase rośliny testowej wynosiła od 2,16 do 3,10 g Mg·kg⁻¹s.m.

(tabela 2). Zbliżone rezultaty uzyskali w swoich badaniach Bednarek i in. [2009], którzy stwierdzili zawartość tego pierwiastka w runi w granicach od 0,10 do 0,22%. Falkowski in.[2000] podają, że w sianie produkowanym w Polsce bardzo często występują niedobory magnezu i zagraniczną wartość w żywieniu zwierząt przyjmują 0,2% Mg w suchej masie roślin. W przeprowadzonych badaniach największą zawartość tego pierwiastka oznaczono w roślinach zebranych w pokosie pierwszym i czwartym. Nogalska i Czapla [2010] wykazali zaś tenden-

Tabela 2. Zawartość magnezu (g kg⁻¹s.m.) w biomase kupkówki pospolitej
Table 2. The content (g kg⁻¹ DM) of magnesium in the biomass of cocksfoot

Wapnowanie	Materiały organiczne	Nikiel [mg kg ⁻¹ gleby]	Pokos				Średnia
			I	II	III	IV	
Bez Ca	bez mat. org.	0	3,64	3,27	2,81	2,67	3,10
		75	2,30	2,29	2,34	2,58	2,34
		150	3,65	3,11	2,38	2,67	2,95
		225	2,59	2,64	2,99	2,96	2,79
	słoma żytnia	0	2,60	3,28	3,19	3,21	3,07
		75	2,91	2,10	2,53	2,83	2,59
		150	2,90	3,35	2,81	2,46	2,88
		225	2,50	3,18	2,31	3,18	2,79
	węgiel brunatny	0	2,60	3,43	3,12	3,05	3,05
		75	3,29	2,59	2,70	2,54	2,78
		150	3,30	2,46	2,31	2,57	2,66
		225	2,50	2,00	2,10	2,05	2,16
Ca	bez mat. org.	0	3,04	2,52	2,00	3,34	2,72
		75	2,36	2,07	2,93	2,76	2,53
		150	1,91	2,27	2,65	2,78	2,40
		225	1,99	2,07	2,86	2,90	2,45
	słoma żytnia	0	2,59	2,04	2,33	2,46	2,35
		75	2,57	2,57	2,65	2,53	2,58
		150	2,31	1,91	2,20	2,46	2,22
		225	2,80	2,66	2,57	2,72	2,69
	węgiel brunatny	0	2,97	2,26	2,31	2,71	2,56
		75	2,44	2,43	2,52	2,60	2,50
		150	3,02	2,07	2,90	3,13	2,78
		225	2,87	1,94	2,37	2,49	2,42
Średnie dla wapnowania		bez Ca	2,90	2,81	2,63	2,73	2,77
		Ca	2,57	2,23	2,52	2,74	2,51
Średnie dla materiałów organicznych		bez mat. org.	2,68	2,53	2,62	2,83	2,66
		słoma żytnia	2,65	2,64	2,57	2,73	2,65
		węgiel brunatny	2,87	2,40	2,54	2,64	2,61
Średnie dla dawek niklu		0	2,91	2,80	2,63	2,91	2,81
		75	2,64	2,34	2,61	2,64	2,56
		150	2,85	2,53	2,54	2,68	2,65
		225	2,54	2,42	2,53	2,72	2,55
Średnio w doświadczeniu			2,73	2,52	2,58	2,74	2,64
NIR _{0,05} dla:		I pokos	II pokos		III pokos		IV pokos
Dawek niklu:		0,237	0,212		0,209		0,192
Wapnowania:		0,125	0,112		n.i		n.i
Materiałów organicznych:		0,185	n.i.		n.i.		0,150

n.i. – nie istotne, not significant.

cję wzrostową zawartości magnezu w kolejnych zbiorach kupkówki pospolitej, czego nie potwierdziły rezultaty badań własnych.

Niezależnie od terminu pokosu wszystkie zastosowane w doświadczeniu dawki niklu powodowały zmniejszenie w roślinie testowej ilości magnezu, co zdaje się w jego przypadku potwierdzać tezę Rubio i in. [1994] zakłócenia pobierania tego pierwiastka przez trawę w warunkach nadmiernej ilości niklu w glebie. Zastosowane wapnowanie spowodowało zmniejszenie ilości omawianego pierwiastka w roślinach zebranych pokosie pierwszym i drugim. Nie wykazano wpływu tego czynnika na omawianą cechę w przypadku roślin zebranych w kolejnych pokosach, co można łączyć z faktem, że od zabiegu wapnowania minęło ponad 3 lata i jego działania było w znacznym stopniu ograniczone. W przeprowadzonych badaniach nie wykazano istotnego, ukierunkowanego wpływu wprowadzenia do gleby słomy na zawartość magnezu w biomacie kupkówki pospolitej natomiast wpływ węgla brunatnego był różnicowany, zależny od terminu zbioru. Rośliny zebrane w pierwszym pokosie z obiektów gdzie zastosowano węgiel brunatny miały większą zawartość magnezu niż zebrane z obiektów kontrolnych, natomiast w przypadku następných pokosów twierdzono zależność odwrotną.

W podsumowaniu przeprowadzonego doświadczenia wazonowego oraz wykonanych analiz chemicznych materiału roślinnego należy stwierdzić, że wpływ badanych w eksperymencie czynników – zróżnicowanej ilości niklu w glebie, wapnowania oraz stosowania odpadów organicznych na zawartość wapnia i magnezu w biomacie kupkówki pospolitej był różnicowany i zależał również od terminu zbioru. Wzrastająca ilość niklu w glebie nie różnicowała zawartości wapnia w trawie i jednocześnie powodowała zmniejszenie zawartości magnezu w roślinach, co wskazywałoby na opisywany przez innych autorów [Parida i in. 2003, Rubio i in. 1994] negatywny wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na pobieranie magnezu przez rośliny. Zastosowane wapnowanie spowodowało wzrost średniej zawartości wapnia oraz obniżenie zawartości magnezu w kupkówce pospolitej. W badaniach nie stwierdzono istotnego wpływu wprowadzenia słomy do gleby na za ilość omawianych metali w biomacie trawy, natomiast wpływ węgla brunatnego uwiódrczył się zarówno w przypadku wapnia jak i

magnezu (rośliny zebrane z obiektów gdzie go zastosowano zawierały średnio mniej obu makroelementów w stosunku do roślin zebranych z obiektów kontrolnych, pomimo że z węglem brunatnym wprowadzono do gleby większą ilość wapnia i magnezu niż ze słomą).

WNIOSKI

1. W przeprowadzonych badaniach nie wykazano wpływu zróżnicowanej ilości niklu w glebie na zawartość wapnia w biomacie kupkówki pospolitej.
2. Wraz ze zwiększeniem ilości niklu w glebie zawartość magnezu w biomacie trawy ulegała zmniejszeniu.
3. Zastosowane wapnowanie powodowało zwiększenie w roślinach ilości wapnia oraz zmniejszenie ilości magnezu.
4. Rośliny zebrane z obiektów, gdzie zastosowano węgiel brunatny zawierały mniejszą ilość wapnia i magnezu w stosunku do roślin zebranych z obiektów kontrolnych.

PIŚMIENNICTWO

1. Bednarek W., Bednarek H., Dresler S. 2009. Zawartość i pobranie fosforu, potasu i magnezu przez kupkówkę pospolitą w zależności od przebiegu warunków meteorologicznych. *Acta Agroph.*,13(3), 587–600
2. Boominathan R., Doran P M. 2002. Ni-induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator. *New Phytologist* 156, 205–215.
3. Falkowski M., Kukułka L., Kozłowski S. 2000. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. Wyd. AR w Poznaniu, 41–97.
4. Gębski M. 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. *Post. Nauk Roln.* 5, 3–16.
5. Kalembasa S., Kuziemska B. 2006. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na plon kupkówki pospolitej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 512, 297–304.
6. Kuziemska B., Kalembasa S. 2011. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem przy zróżnicowanym jej odczynie i nawożeniu organicznym na zawartość fosforu, potasu, wapnia i magnezu w kupkówce pospolitej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 564, 135–143.
7. Kuziemska B. Wiereniej W., Trębicka J., Klej P., Bik B., 2014. Zawartość manganu i litu w kupkówce pospolitej uprawianej na glebie zaniec-

- zyszczonej Niklem w warunkach zróżnicowanego odczynu i nawożenia organicznego. *Epistreme* 22/2014, t. II, 275–285.
8. Kwiatkowska-Malina J., Maciejewska A. 2011. Pobieranie metali ciężkich przez rośliny w warunkach zróżnicowanego odczynu gleb i zawartości materii organicznej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 49, 43–51.
 9. Kwiatkowska-Malina J., Maciejewska A. 2009. Wpływ materii organicznej na pobieranie metali ciężkich przez rzodkiewkę i facelię. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 217–223.
 10. Molas J.M. 2010. Pobieranie niklu przez rośliny kapusty (*Brassicaoleracea* L.) i jego fitotoksyczność w zależności od formy chemicznej dodanej do podłoża. *Rozprawy Naukowe UP w Lublinie* 341, ss. 142.
 11. Nogalska A., Czapła J. 2010. Plonowanie i skład mineralny kupkówki pospolitej (*DactylisGlomerata* L.) po zastosowaniu mączki mięsno-kostnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 556, 193–201.
 12. Parida B.K., Chhibba I.M. and Nayyar V.K. 2003. Influence of nickel-contaminated soils on fenugreek (*Trigonellacorniculata* L.) growth and mineral composition. *Sci. Hortic.* 98, 113–119.
 13. Rubio M.I., Escrig I., Martinez-Cortina C., Lopez-Benet F.J., Sanza 1994. Cadmium and nickel accumulation in rice plants. Effects on mineral nutrient and possible interactions of abscisic and gibberellic acids. *Plant Growth Regulation* 14, 151–157.