

Jolanta Kwiatkowska-Malina*, Alina Maciejewska*

WPŁYW MATERII ORGANICZNEJ NA POBIERANIE METALI CIĘŻKICH PRZEZ RZODKIEWKĘ I FACELIĘ

THE INFLUENCE OF ORGANIC MATTER ON HEAVY METALS UPTAKE BY RADISH AND PHACELIA

Słowa kluczowe: materia organiczna, metale ciężkie, rzodkiewka, facelia, współczynnik bioakumulacji.

Key words: organic matter, heavy metals, radish, phacelia, bio-accumulation index.

Organic matter has been considered to preserve a record amount of heavy metals. The experiments were carried out on Haplic Luvisol (WRB) formed from loamy sand in field pots sank into the ground. To the soil a brown coal preparation, the "Rekulter", brown coal, peat, farmyard manure were applied in autumn 1999 in the amount of 180, 140, 390, 630 g per pot. The soil was contaminated with Cd, Pb and Zn. In 2002 a radish and phacelia were grown.

The content of Zn, Pb and Cd in concentrated ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) in ratio 4:1 in soil after third year of growing plants on contaminated soil not changed significantly in soil with organic matter from different resources. The content of soluble (EDTA) Zn, Pb and Cd in soil depended on kind of organic matter and was the smallest in soil where Rekulter was applied.

The limiting influence of Rekulter on uptake of Zn, Pb and Cd by plants was the highest to compare with organic matter from different sources. The bio-accumulation (BI) indexes of Cd, Pb, Zn indicate mobility of Cd, Pb and Zn in soils and their availability to plants. The BI were the smallest where the Rekulter was applied and for all plant's parts.

* *Dr inż. Jolanta Kwiatkowska-Malina i prof. dr hab. Alina Maciejewska – Zakład Gospodarki Przestrzennej i Nauk o Środowisku Przyrodniczym, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska, Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa; tel.: 22 234 53 93; e-mail: j.kwiatkowska@gik.pw.edu.pl; a.maciejewska@gil.pw.edu.pl*

1. WPROWADZENIE

Rosnąca świadomość zagrożeń wynikających z zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi sprawia, że problem ograniczenia ich pobierania przez rośliny, a zatem wykluczenia z łańcucha pokarmowego, jest ciągle aktualny. Pobieranie metali ciężkich przez roślinę uwarunkowane jest wieloma czynnikami, takimi jak: pH, zawartość substancji organicznej, obecność innych metali, gatunek rośliny itp. [Niemyska-Lukaszuk, Miechówka 1999, Rogóż, Opozda-Zduchańska 2003, Zaniewicz-Bajkowska 2000].

Jedną z metod „zablokowania” metali ciężkich w glebie, a zatem ograniczenia ich pobierania przez rośliny jest związanie ich przez materię organiczną gleb [Kwiatkowska, Maciejewska 2005]. Potencjalnym źródłem materii organicznej w glebach mogą być odpowiedniej jakości odpady organiczne, zwane również niekonwencjonalnymi substancjami nawozowymi. Należą do nich komposty, osady ściekowe, węgiel brunatny i inne [Filipek-Mazur i in. 1998, Wołoszyk i in. 2005]. W ostatnich latach prowadzone są badania nad wykorzystaniem Rekultera – preparatu z węgla brunatnego do poprawy żyzności i właściwości gleb słabych i zdegradowanych [Maciejewska, Kwiatkowska 1998, 2000, 2002].

Celem badań było określenie przydatności materii organicznej z różnych źródeł do ograniczenia pobierania cynku, ołowiu i kadmu przez rzodkiewkę i facelię.

2. MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w wazonach kamionkowych bez dna (umieszczonych w gruncie), o średnicy 40 cm i wysokości 120 cm, które wypełniono glebą płową właściwą (Haplic Luvisols, WRB) wytworzoną z piasku gliniastego mocnego na glinie lekkiej, w ilości 56 kg na wazon. W roku 1999 do gleby wprowadzono jednorazowo i wymieszano z całą masą gleby w wazonach preparat z węgla brunatnego-Rekulter, węgiel brunatny, torf, obornik w dawkach odpowiednio 180, 140, 390, 630 g na wazon, co odpowiadało 5 t C org. na ha. Rekulter zawierał w suchej masie 85% węgla brunatnego, 10% torfu niskiego oraz 4% popiołu z węgla brunatnego. Jednocześnie do gleby wprowadzono metale ciężkie w ilości:

- cynku – $90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w formie $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$,
- ołowiu – $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w formie $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$,
- kadmu – $0,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w formie $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$.

Glebę tą charakteryzowała podwyższona zawartość metali ciężkich – (I stopień) [Kabała-Pendias i in. 1993].

W doświadczeniu w 2002 r. uprawiano rzodkiewkę, a następnie facelię. Zastosowano średnio następujące dawki składników pokarmowych: N – 190, P – 46, K – 175 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Rośliny po zbiorze zważono (plon świeżej masy roślin), a po wysuszeniu ustalono plon suchej

masy. W próbach roślinnych zmineralizowanych w mieszaninie stężonych kwasów ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) w stosunku 4:1 oznaczono ogólną zawartość cynku, ołowiu i kadmu metodą ICP.

Próbki gleb pobrano po zbiorach roślin z warstwy powierzchniowej (0–20 cm). W próbach glebowych zmineralizowanych w mieszaninie stężonych kwasów $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ (3:1 + 30% H_2O_2) oznaczono zawartość formy „całkowitej” cynku, ołowiu i kadmu. Do oznaczenia form bioprzystępnych cynku, ołowiu i kadmu w glebie zastosowano selektywną ekstrakcję za pomocą 0,05 M roztworu EDTA [Ure 1996]. Współczynnik bioakumulacji metali ciężkich (BF) wyznaczono jako stosunek zawartości metali ciężkich w suchej masie roślin i „całkowitej” zawartości w glebie.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Dodatek materii organicznej do gleby, niezależnie od źródła (węgiel brunatny, preparat z węgla brunatnego-Rekulter, torf, obornik) korzystnie wpłynął na wzrost plonów rzodkiewki i facelii (tab. 1).

Największy (91 g) wzrost sumarycznego plonu zgrubień-korzenia i liści świeżej masy rzodkiewki uzyskano przy wprowadzeniu Rekultera, tj. o ok. 250% w stosunku do kontroli. Plon świeżej masy facelii również był największy (451 g) z wariantu z Rekulterem. Zwiększenie wielkości plonów po zastosowaniu materii organicznej wynikało z tego, że niezależnie od jej źródła (Rekulter, węgiel brunatny, torf, obornik) materia ta jest źródłem N, P, K, Mg i Ca oraz mikroelementów dla roślin. Jest to zbieżne z wynikami badań otrzymanymi przez autorów [Maciejewska, Kwiatkowska 2001, Wong i in. 1999, Zhou i in. 2005]. Węgiel brunatny (zatem również Rekulter) ze względu na właściwości, w tym porowatość, wykazuje dużą pojemność sorpcyjną nie tylko w stosunku do wody, ale i do składników pokarmowych. Działa przez to buforująco na odczyn gleby i stężenie składników pokarmowych w roztworze glebowym, stwarzając lepsze warunki dla wegetacji roślin. Korzystny wpływ na plonowanie roślin dodatku materii organicznej do gleby stwierdzono również w badaniach innych autorów [Ciećko i in. 2001, Marcote i in. 2001, Sienkiewicz i in. 2005, Wołoszyk i in. 2005].

Tabela 1. Plon rzodkiewki i facelii świeżej i suchej masy (g/wazon)

Table 1. Yield of radish and phacelia fresh and dry mass (g/pot)

Rodzaj materii organicznej	Rzodkiewka		Facelia	
	świeża masa	sucha masa	świeża masa	sucha masa
Kontrola „0”	26	12	323	66
Rekulter	91	40	451	100
Węgiel brunatny	86	38	392	86
Torf	57	30	371	77
Obornik	90	39	408	89

Dodatek materii organicznej z różnych źródeł do gleby wpłynął na zmniejszenie zawartości cynku, ołowiu i kadmu w rzodkiewce i facelii (tab. 2).

Zmniejszyła się bioprzystępność metali ciężkich, a zatem ich pobranie przez rośliny, czyli mniejsze zanieczyszczenie pierwszego ogniwa w łańcuchu pokarmowym. Koncentracja metali ciężkich, w roślinach w dużym stopniu zależy od gatunku, a nawet odmiany [Tyksiński, Kurdubka 2004]. Spośród warzyw, najwięcej metali ciężkich pobierają te rośliny, których częścią jadalną są liście lub korzenie, np. rzodkiewka sałata czy marchew. Zależność ta znalazła potwierdzenie w otrzymanych wynikach badań. Duże znaczenie w ograniczaniu pobierania metali ciężkich przez warzywa ma zwiększenie ilości materii organicznej w glebach mineralnych. Związane jest to z unieruchamianiem tych pierwiastków przez makromolekularne koloidy organiczne oraz ogólną poprawą właściwości fizykochemicznych gleb, co znalazło też odzwierciedlenie w plonowaniu roślin (tab. 1).

Zawartość **cynku** w rzodkiewce i facelii była największa w kontroli („0”), najmniejsza natomiast w wariancie z węglem brunatnym w rzodkiewce, a w wariancie z Rekulterem dla facelii. Węgiel brunatny oraz produkty jego humifikacji w glebie mogą tworzyć związki kompleksowe z metalami ciężkimi o różnej trwałości. Największą trwałość wykazują na ogół kompleksy z miedzią i ołowiem, a następnie z niklem i cynkiem. Uzyskane wyniki potwierdzają badania innych autorów [Ciećko i in. 2001, Karczewska i in. 1996, Martyniuk, Więckowska 2003, Motowicka-Terelak i in. 1998], w których dodatek węgla brunatnego powodował zmniejszenie zawartości metali ciężkich w roślinach.

Zawartość **ołowiu** w rzodkiewce i facelii była najwyższa w kontroli (tab. 2). W wariancie z węglem brunatnym i Rekulterem zawartość ołowiu w rzodkiewce zmniejszyła się o 35–50% w porównaniu do kontroli.

Również zawartość **kadmu** w rzodkiewce i facelii malała pod wpływem materii organicznej dostarczonej z różnych źródeł (tab. 2). Najmniejsza była w wariancie z Rekulterem i węglem brunatnym.

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w suchej masie rzodkiewki i facelii ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Table 2. Contents of heavy metals in radish and phacelia dry mass ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

Rodzaj materii organicznej	Rzodkiewka						Facelia		
	korzeń	liście	korzeń	liście	korzeń	liście	cynk	ołów	kadm
	cynk		ołów		kadm				
Kontrola „0”	114	132	13,3	16,2	1,06	1,10	120	14,3	1,32
Rekulter	90	93	9,0	9,1	0,45	0,46	95	9,6	0,41
Węgiel brunatny	89	90	8,8	8,6	0,43	0,47	94	9,7	0,45
Torf	98	102	9,2	9,4	0,47	0,48	99	10,1	0,49
Obornik	97	100	10,0	9,6	0,50	0,49	96	10,3	0,52

Powszechnie przyjmuje się, że nawożenie mineralne z organicznym odgrywa decydującą rolę w kształtowaniu plonów roślin i ich składu chemicznego [Nardi i in. 2004, Wołoszyk

i in. 2005] co zostało potwierdzone przez otrzymane wyniki badań. Pod względem zawartości cynku, ołowiu i kadmu rzodkiewka i facelia uprawiane na glebie o zwiększonej zawartości metali ciężkich z dodatkiem materii organicznej z różnych źródeł wykazuje przydatność paszową z wyjątkiem facelii w wariacie z obornikiem, gdzie zawartość kadmu przekracza zawartości krytyczne przyjęte do oceny roślin pod względem ich przydatności.

Zawartość form całkowitych cynku, ołowiu i kadmu (HCl + HNO₃ (3:1 + 30% H₂O₂)) w glebie z dodatkiem materii organicznej była na podobnym poziomie. Zawartość formy bioprzystępnej (0,05 M EDTA) w glebie zmniejszyła się natomiast po dodaniu materii organicznej do gleb (tab. 3.). Zawartości form bioprzystępnych cynku, ołowiu i kadmu w kontroli i z Rekulterem wynosiły odpowiednio: 71,7; 47,8; 0,53 (kontrola); 52,9; 21,3; 0,40 (Rekulter), które w odniesieniu do całkowitych zawartości wynosiły: 79%, 74%, 49% (kontrola), 65%, 63%, 51% (Rekulter).

Tabela 3. Zawartość „całkowita” – HCl + HNO₃ (3:1 + 30% H₂O₂) i bioprzystępna (0,05 M EDTA) metali ciężkich w glebie (mg·kg⁻¹ s.m.)

Table 3. “Total” – HCl + HNO₃ (3:1 + 30% H₂O₂) and bioavailable (0,05 M EDTA) contents of heavy metals in soil (mg·kg⁻¹ d.m.)

Rodzaj materii organicznej	HCl + HNO ₃ (3:1 + 30% H ₂ O ₂)			0,05 M EDTA		
	cynk	ołów	kadm	cynk	ołów	kadm
Kontrola „0”	89,9	50,9	1,09	71,7	37,8	0,53
Rekulter	81,7	34,0	0,78	52,9	21,3	0,40
Węgiel brunatny	79,5	35,3	0,79	51,5	21,8	0,41
Torf	77,7	36,6	0,80	55,3	25,4	0,39
Obornik	78,1	37,1	0,79	54,2	23,1	0,40

Tabela 4. Współczynniki bioakumulacji (BF)

Table 4. Bioaccumulation indexes (BF)

Rodzaj materii organicznej	Rzodkiewka						Facelia		
	korzeń	liście	korzeń	liście	korzeń	liście	cynk	ołów	kadm
	cynk		ołów		kadm				
Kontrola „0”	1,27	1,47	0,26	0,32	0,97	1,00	1,33	0,29	1,21
Rekulter	1,10	1,14	0,27	0,27	0,58	0,59	1,06	0,26	0,52
Węgiel brunatny	1,12	1,13	0,25	0,24	0,54	0,59	1,15	0,25	0,57
Torf	1,26	1,31	0,25	0,26	0,59	0,60	1,27	0,27	0,61
Obornik	1,24	1,28	0,25	0,26	0,63	0,62	1,23	0,28	0,66

Wartości współczynników bioakumulacji (BF) dla poszczególnych metali były zbliżone (tab. 4). Wartości współczynników BF dla cynku po zastosowaniu Rekultera były najniższe i wahały się w zakresie od 1,06 (facelia) do 1,14 (rzodkiewka – liście). Najniższa wartość współczynników BF (0,24–0,25) dla ołowiu w rzodkiewce i facelii wystąpiła po zastosowaniu węgla brunatnego. Natomiast wartość współczynnika BF dla kadmu po zastosowaniu Rekultera wahała się w zakresie od 0,52 (facelia) do 0,59 (rzodkiewka – liście).

4. WNIOSKI

1. Największą wartość nawozową materii organicznej, wyrażoną plonem roślin, miał Re-kulter – preparat z węgla brunatnego.
2. Pod wpływem materii organicznej dodanej do gleby zmniejszyła się bioprzystępność cynku, ołowiu i kadmu, a zatem ich pobranie przez rzodkiewkę i facelię.
3. Zawartość cynku, ołowiu i kadmu w rzodkiewce i facelii była najmniejsza w wariacie z węglem brunatnym.
4. Zawartość cynku, ołowiu i kadmu w rzodkiewce i faceli wskazywała na przydatność paszową tych roślin, z wyjątkiem facelii w wariacie z obornikiem, gdzie zawartość kadmu przekraczała zawartości krytyczne przyjęte dla roślin konsumpcyjnych lub paszowych.

PIŚMIENNICTWO

- CIEĆKO Z., WYSZKOWSKI M., KRAJEWSKI W., ZABIELSKA J. 2001. Effect of Organic matter and liming on the reduction of cadmium uptake from soil by triticale and spring oilseed rape. *The Science of the Total Environment* 281, 37–45.
- FILIPEK-MAZUR B., MAZUR K., GONDEK K. 1998. Skład frakcyjny próchnicy w glebie nawozonej obornikiem oraz osadem z oczyszczalni ścieków garbarskich i uzyskanymi z niego kompostami. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 349; sesja nauk. 64: 89–96.
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WI-TEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką, Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy.
- KARCZEWSKA A., CHODAK T., KASZUBKIEWICZ J. 1996. The suitability of brown coal as a sorbent for heavy metals in polluted soils. *Applied Geochemistry* vol. 11: 343–346.
- KWIATKOWSKA J., MACIEJEWSKA A. 2005. Wpływ materii organicznej na plon oraz zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich w życie (*Secale cereale L.*). Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia tom III; IOŚ. Warszawa: 319–322.
- MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA J. 1998. Wpływ nawozu organiczno-mineralnego na właściwości fizykochemiczne gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 455: 9–16.
- MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA J. 2000. The effect of organic matter from brown coal on chemical composition of plants cultivated in the soil contaminated with heavy metals. *Proc of the 10th Int. Meeting of the Humic Substances Society, Toulouse, France.* 977–981.
- MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA J. 2001. Wpływ nawozu organiczno-mineralnego z węgla brunatnego na plony i zawartość K, Mg, Ca w roślinach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 480: 281–289.
- MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA J. 2002. Przydatność preparatów z węgla brunatnego do rekultywacji gruntów pogórnich. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* t. 5, nr 1: 55–66.

- MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA J. 2005. Wpływ materii organicznej z różnych źródeł na plon oraz zawartość i rozmieszczenie makroelementów w życie (*Secceale cereale L.*) Fragmenta Agronomica (XXII) nr 1(85): 484–492.
- MARCOTE I., HERNANDEZ T., GARCIA C., POLO A. 2001. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. Bioresource Technology 79: 147–154.
- MARTYNIUK H., WIĘCKOWSKA J. 2003. Adsorption of metal ions on humic AIDS extracted from Brown coals. Fuel Processing technology 84: 23–36.
- MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H., MACIEJEWSKA A. 1998. Przydatność „Rekultera” w detoksykacji chemicznego skażenia gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 422: 123–131.
- NARDI S., MORAMI F., BERTI A., KOSONI M., GIARDI L. 2004. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers. Europ. J. Agron. 21: 357–367.
- NIEMYSKA-ŁUKASZUK J., MIECHÓWKA A. 1999. Cadmium in rankers from the non-forest areas of the Tatra National Park. Polish Journal of Soil Science vol. XXXII/1: 61–69.
- SIENKIEWICZ S., KRZEBIETKE S., PANAK H., CZAPLA J. 2005. Plony jęczmienia jarego i pszenicy jarej w zależności od nawożenia w wieloletnim doświadczeniu polowym. Fragmenta Agronomica (XXII) nr 1(85): 244–253.
- ROGÓŻ A., I OPOZDA-ZDUCHAŃSKA E. 2003. Właściwości fizykochemiczne gleb i zawartość pierwiastków śladowych w uprawianych warzywach, Cz. II. Zesz. Probl. Post. nauk Roln. 493: 471–481.
- TYKSIŃSKI W., KURDUBSKA J. 2004. Różnice odmianowe w akumulacji kadmu i ołowiu przez rzodkiewkę (*Raphanus Sativus L.*). Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCCLVI: 209–215.
- URE A.M. 1996. Single extration schems for soil analysis and related applications. Sc. Total Environ. 178: 3–10.
- WOŁOSZYK CZ., KRZYWY E., IŻEWSKA A. 2005. Ocena wartości nawozowej kompostów sporządzonych z komunalnego osadu ściekowego w trzyletnim zmianowaniu roślin. Fragmenta Agronomica (XXII) nr 1(85): 631–642.
- WONG J.W.C., MA K.K., FANG K.M. CHEUNG C. 1999. Utilization of manure compost of organic farming in Hong Kong. Bioresource Technology 67: 43–46.
- ZANIEWICZ-BAJKOWSKA A. 2000. Zależność zawartości kadmu i ołowiu w glebie oraz w korzeniach buraka ćwikłowego od nawożenia organicznego i wapnowania. Ann. UMCS Sectio EEE Hort. 8, Supp.: 123–128.
- ZHOU D.M., HAO X.Z., WANG Y.J., DONG Y.H., CANG L. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. Chemosphere 59: 167–175.