

Jolanta Kwiatkowska-Malina*, Alina Maciejewska*

**POBIERANIE METALI CIĘŻKICH PRZEZ ROŚLINY W WARUNKACH
ZRÓŻNICOWANEGO ODCZYNU GLEB I ZAWARTOŚCI MATERII
ORGANICZNEJ**

**THE UPTAKE OF HEAVY METALS BY PLANTS AT DIFFERENTIATED
SOIL REACTION AND CONTENT OF ORGANIC MATTER**

Słowa kluczowe: materia organiczna, metale ciężkie, gorczyca, kapusta pekińska, współczynnik bioakumulacji.

Key words: organic matter, heavy metals, mustard, Chinese cabbage, 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 sunk into the ground. To the soil a brown coal preparation, the "Rekulter" was applied in autumn 1999 in the amount of 180, 360 and 720 g per pot. The soil was contaminated with Cd, Pb and Zn. In 2003 a mustard and Chinese cabbage were grown.

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

The limiting influence of the Rekulter on uptake of Zn, Pb and Cd by plants was the highest where the highest dose was applied into soil where pH was about 6,0. The bio-accumulation indexes (BI) 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 highest dose of the Rekulter was applied and for all plant's parts.

* *Dr hab. inż. Jolanta Kwiatkowska-Malina – prof. nadzwyczajny PW, prof. dr hab. Alina Maciejewska – Katedra 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@gik.pw.edu.pl*

1. WPROWADZENIE

Rośliny są głównym odbiorcą i jednocześnie źródłem metali ciężkich w pożywieniu ludzi i zwierząt, istnieje zatem pilna potrzeba ograniczenia do minimum negatywnego wpływu metali ciężkich na organizmy żywe. Czynniki glebowe mają największy wpływ na zawartość fitodostępnych frakcji metali ciężkich w glebie, a tym samym na poziom akumulacji tych pierwiastków w roślinach [Kabata-Pendias i Pendias 1999, Sady i in. 2000]. Spośród fizykochemicznych właściwości gleby wpływających na ilość fitodostępnych form metali ciężkich decydującą rolę odgrywają: typ gleby, jej skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej, właściwości sorpcyjne, odczyn oraz potencjał oksydo-redukcyjny. Substancja organiczna występująca w glebie w postaci substancji humusowych oraz wprowadzana do gleby (podłoża) wraz z nawozami naturalnymi, organicznymi i organiczno-mineralnymi, ogranicza ilość form metali ciężkich dostępnych dla roślin [Zaniewicz-Bajkowska 2000, Kwiatkowska i Maciejewska 2005, Kwiatkowska-Malina, Maciejewska 2009]. Substancja organiczna w glebie wpływa na siłę, z jaką jej kwasowość oddziałuje na rozpuszczalność metali ciężkich. Na glebach wzbogaconych w materię organiczną (np. osady ściekowe, torf, komposty, węgiel brunatny) zmniejsza się udział dostępnych dla roślin form metali ciężkich, a tym samym maleje ich toksyczność dla roślin [Wołoszyk i in. 2005, Kwiatkowska 2006, Skłodowski i in. 2006].

Odczyn jest uważany za jeden z głównych czynników wpływających na formę, w jakiej metale ciężkie występują w środowisku glebowym oraz na ich dostępność dla roślin [Kabata-Pendias i Pendias 1999]. Zmniejszenie pH gleby do odczynu lekko kwaśnego i kwaśnego powoduje zwiększenie stężenia w roztworze glebowym dostępnych dla roślin, ruchomych form metali ciężkich, a tym samym podwyższenie wskaźnika ich akumulacji w roślinach. Jest to spowodowane wzrostem rozpuszczalności chemicznych połączeń tych pierwiastków, jak również zmniejszeniem ich absorpcji na koloidach glebowych w warunkach małego pH gleby.

Celem pracy była analiza zawartości i pobierania metali ciężkich (Zn, Pb, Cd) przez rośliny (gorczyca, kapusta pekińska) w warunkach zróżnicowanego odczynu gleby i zawartości materii organicznej.

2. MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w wazonach kamionkowych bez dna (umieszczonych w gruncie) o średnicy 40 i wysokości 120 cm, które wypełniono glebą (56 kg) płową właściwą (Haplic Luvisol, WRB), wytworzoną z piasku gliniastego mocnego na glinie lekkiej. W 1999 roku do gleby wprowadzono jednorazowo i wymieszano z całą jej masą, preparat z węgla brunatnego – Rekulter, w dawkach 180, 360 i 720 g na wazon, co odpowiadało 5, 10 i 20 t C-org na hektar. 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: cynk – 90 mg·kg⁻¹ w formie ZnSO₄·7 H₂O, ołów – 60 mg·kg⁻¹ w formie Pb(NO₃)₂ i kadm – 0,8 mg·kg⁻¹ w formie Cd(NO₃)₂·4 H₂O, gleba ta charakteryzowała się podwyższoną zawartością metali ciężkich – I stopień [Kabata-Pendias i in. 1993].

W doświadczeniu uprawiano w 2003 roku gorczycę, a następnie kapustę pekińską. Zastosowano średnio następujące dawki składników pokarmowych: N – 190, P – 46, K – 175 kg·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 (HNO₃ + HClO₄ 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 HCl + HNO₃ (3:1 + 30% H₂O₂) 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, w postaci preparatu z węgla brunatnego – Rekultera, do gleby korzystnie wpłynął na wzrost plonów gorczycy i kapusty pekińskiej (tab. 1).

Tabela 1. Plon gorczycy (łuszczyzny i nasiona + łodyga i liście) i kapusty pekińskiej, g·wazon⁻¹

Table 1. Yield of mustard (siliques and seeds + stem and straw) and Chinese cabbage, g·pot⁻¹

| Dawka Rekultera, g·wazon ⁻¹ | Odczyn gleby pH _{KCl} | Gorczyca | | Kapusta pekińska | |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|------------|------------------|------------|
| | | świeża masa | sucha masa | świeża masa | sucha masa |
| Kontrola „0” | 6,0 | 143 | 90 | 154 | 72 |
| | 5,0 | 124 | 74 | 142 | 68 |
| | 4,0 | 93 | 66 | 132 | 59 |
| 180 | 6,0 | 156 | 102 | 192 | 98 |
| | 5,0 | 126 | 80 | 178 | 80 |
| | 4,0 | 99 | 72 | 156 | 75 |
| 360 | 6,0 | 159 | 103 | 200 | 100 |
| | 5,0 | 130 | 94 | 175 | 86 |
| | 4,0 | 102 | 80 | 166 | 76 |
| 720 | 6,0 | 162 | 104 | 202 | 98 |
| | 5,0 | 134 | 90 | 168 | 88 |
| | 4,0 | 104 | 88 | 166 | 79 |

Największy (162 g) plon świeżej masy łuszczyn i nasion oraz łodyg i liści gorczycy uzyskano po zastosowaniu największej dawki (720 g) Rekultera, na glebie o odczynie lekko kwaśnym. Plon świeżej masy części nadziemnych kapusty pekińskiej również był największy (202 g) w wariacie z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym. Zwiększenie plonów wraz z dawką materii organicznej wprowadzonej do gleby w postaci Rekultera wynikało z faktu, że był on źródłem makroelementów (N, P, K, Mg i Ca) oraz mikroelementów dla roślin. Jest to zbieżne z wynikami badań otrzymanymi przez Maciejewską i Kwiatkowską [2001, 2005] oraz Wonga i in. [1999]. Węgiel brunatny (zatem również Rekulter), z uwagi na takie właściwości jak 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 vegetacji roślin. Korzystny wpływ dodatku materii organicznej do gleby na plonowanie roślin stwierdzono również w badaniach innych autorów [Marcote i in. 2001, Sienkiewicz i in. 2005, Wołoszyk i in. 2005].

Wprowadzenie do gleby materii organicznej w postaci Rekultera wpłynęło na zmniejszenie zawartości cynku, ołowiu i kadmu w gorczycy i kapuście pekińskiej (tab. 2). Zmniejszyła się bioprzystępność metali ciężkich, a zatem ich pobranie przez rośliny, czyli nastąpiło mniejsze zanieczyszczenie pierwszego ogniwa w łańcuchu pokarmowym. Koncentracja metali ciężkich w roślinach w dużym stopniu zależy od gatunku, a nawet odmiany [Tyksiński i Kurdubka 2004, Korzeniowska i Stanisławska-Głubiak 2007]. Różna wrażliwość roślin na kadm i cynk umożliwia selekcję roślin zdolnych do wzrostu w koncentracjach toksycznych dla innych roślin [Baran i Jasiewicz 2009]. Spośród warzyw, najwięcej poobierają te, których częścią jadalną są liście lub korzenie, np. kapusta pekińska, rzodkiewka, sałata czy marchew. Zależność ta znalazła potwierdzenie w otrzymanych wynikach badań. Duże znaczenie dla ograniczenia pobierania metali ciężkich przez warzywa ma zwiększenie ilości materii organicznej w glebach mineralnych. Jest to związane z unieruchamianiem tych pierwiastków przez makromolekularne koloidy organiczne oraz ogólną poprawą właściwości fizykochemicznych gleb, co znalazło odzwierciedlenie również w plonowaniu roślin (tab. 1).

Zawartość **cynku** w gorczycy i kapuście pekińskiej była największa w wariacie bez dodatku Rekultera („0”) natomiast najmniejsza – w wariacie z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym (tab. 2). Węgiel brunatny, który jest głównym składnikiem (85%) Rekultera, 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, kadmem i cynkiem. Uzyskane wyniki potwierdzają badania innych autorów [Ciećko i in. 2001, Martyniuk i Więckowska 2003], w których dodatek węgla brunatnego powodował zmniejszenie zawartości metali ciężkich w roślinach.

Zawartość **ołowiu** w gorczycy i kapuście pekińskiej była największa w wariacie bez dodatku Rekultera na glebie o odczynie bardzo kwaśnym (tab. 2). W wariacie z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym zawartość ołowiu w łuszczynach

i nasionach gorczycy była mniejsza o 45% niż w wariancie kontrolnym. W kapuście pekińskiej spadek ten wynosił ok. 30%. Biorąc pod uwagę wartości krytyczne zawartości ołowiu przyjęte na poziomie $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. roślin stwierdzono, że tylko nasiona gorczycy z wariantów z największą dawką Rekultera mogą być przeznaczone na cele konsumpcyjne [Kabata-Pendias i in. 1993]. W przypadku kapusty pekińskiej powyższego kryterium nie spełniały rośliny z żadnego wariantu.

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w gorczycy i kapuście pekińskiej, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

Table 2. Contents of heavy metals in mustard and Chinese cabbage, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.

| Dawka Rekultera (g·wazon ⁻¹) | Odczyn gleby pH_{KCl} | Gorczyca | | | | | | Kapusta pekińska | | |
|------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|------|------|---------------------|------|------|------------------|-------|------|
| | | łodyga i liście | | | łuszczyny i nasiona | | | Zn | Pb | Cd |
| | | Zn | Pb | Cd | Zn | Pb | Cd | | | |
| Kontrola „0” | 6,0 | 288 | 7,27 | 1,80 | 191 | 1,79 | 0,45 | 325 | 8,60 | 0,91 |
| | 5,0 | 355 | 8,69 | 1,95 | 196 | 1,99 | 0,78 | 421 | 9,90 | 1,30 |
| | 4,0 | 361 | 9,85 | 2,42 | 219 | 2,24 | 0,99 | 553 | 11,17 | 1,53 |
| 180 | 6,0 | 195 | 6,22 | 1,51 | 197 | 1,59 | 0,30 | 189 | 6,09 | 0,91 |
| | 5,0 | 224 | 7,27 | 1,79 | 187 | 1,74 | 0,45 | 283 | 8,17 | 0,84 |
| | 4,0 | 336 | 8,91 | 1,94 | 212 | 1,91 | 0,72 | 296 | 9,54 | 0,71 |
| 360 | 6,0 | 171 | 5,68 | 1,46 | 163 | 1,11 | 0,21 | 152 | 5,7 | 0,27 |
| | 5,0 | 235 | 6,74 | 1,61 | 171 | 1,33 | 0,43 | 256 | 7,1 | 0,29 |
| | 4,0 | 324 | 7,83 | 1,87 | 199 | 1,41 | 0,61 | 391 | 8,3 | 0,53 |
| 720 | 6,0 | 153 | 4,43 | 1,37 | 149 | 0,81 | 0,11 | 141 | 2,74 | 0,11 |
| | 5,0 | 169 | 5,51 | 1,51 | 159 | 0,93 | 0,41 | 154 | 3,93 | 0,21 |
| | 4,0 | 223 | 6,53 | 1,75 | 183 | 1,37 | 0,51 | 222 | 5,17 | 0,25 |

Jednym z najbardziej niebezpiecznych dla środowiska naturalnego metali ciężkich jest **kadm**. Zawartość tego pierwiastka w gorczycy i kapuście pekińskiej malała pod wpływem materii organicznej z Rekultera (tab. 2). Zawartość kadmu, zarówno w gorczycy, jak i w kapuście pekińskiej, była najmniejsza w wariancie z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym. W wariancie z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym zawartość kadmu w łuszczynach i nasionach gorczycy zmniejszyła się o 75% w porównaniu z wariantem kontrolnym. W kapuście pekińskiej spadek ten wynosił ok. 70%. Wartość konsumpcyjną pod względem zawartości (poniżej $0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. roślin) kadmu miały tylko nasiona gorczycy i kapusta pekińska z wariantu z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym.

Powszechnie przyjmuje się, że nawożenie odgrywa decydującą rolę w kształtowaniu plonów i składu chemicznego roślin [Nardi i in. 2004, Wołoszyk i in. 2005], co potwierdziły otrzymane wyniki badań. Pod względem zawartości cynku, ołowiu i kadmu rośliny uprawiane na glebie o podwyższonej zawartości metali ciężkich z dodatkiem Rekultera w największej dawce miały w większości wariantów przydatność paszową.

Wprowadzenie do gleby Rekultera nie wpłynęło istotnie na zawartość form "całkowitych" cynku, ołowiu i kadmu w glebie, zmniejszyła się natomiast zawartość formy bioprzystępnej tych metali (tab. 3.).

Tabela 3. Zawartość „całkowita” i bioprzystępna metali ciężkich w glebie, mg·kg⁻¹ s.m.

Table 3. „Total” and bioavailable contents of heavy metals in soil, mg·kg⁻¹ d.m.

| Dawka Rekultera (g·wazon ⁻¹) | Odczyn gleby pH _{KCl} | Zawartość „całkowita” | | | Zawartość bioprzystępna | | |
|------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------|------|-------------------------|------|------|
| | | cynk | ołów | kadm | cynk | ołów | kadm |
| Kontrola „0” | 6,0 | 89,9 | 50,9 | 1,09 | 71,7 | 37,8 | 0,53 |
| | 5,0 | 81,7 | 49,0 | 1,08 | 72,9 | 41,3 | 0,50 |
| | 4,0 | 79,5 | 50,3 | 1,09 | 71,5 | 41,8 | 0,51 |
| 180 | 6,0 | 80,5 | 37,6 | 0,79 | 55,5 | 24,2 | 0,45 |
| | 5,0 | 78,1 | 37,1 | 0,79 | 54,2 | 23,1 | 0,40 |
| | 4,0 | 77,2 | 39,2 | 0,82 | 57,2 | 25,2 | 0,41 |
| 360 | 6,0 | 80,3 | 35,3 | 0,79 | 52,8 | 27,5 | 0,45 |
| | 5,0 | 83,8 | 40,2 | 0,76 | 56,2 | 26,3 | 0,41 |
| | 4,0 | 79,3 | 35,3 | 0,78 | 57,3 | 26,2 | 0,41 |
| 720 | 6,0 | 80,0 | 37,2 | 0,80 | 47,1 | 24,6 | 0,38 |
| | 5,0 | 77,5 | 36,6 | 0,78 | 49,2 | 24,1 | 0,34 |
| | 4,0 | 78,2 | 38,3 | 0,78 | 43,2 | 23,1 | 0,31 |

Zawartości form bioprzystępnych cynku, ołowiu i kadmu w glebie z wariantu kontrolnego wynosiły odpowiednio: 71,5 – 72,9; 37,8 – 41,8 i 0,50 – 0,53 mg·kg⁻¹ s.m. i stanowiły: 79 – 89%; 74% – 84% oraz 46 – 49% zawartości „całkowitych”. W wariantach, w których zastosowano największą dawkę Rekultera zawartości form bioprzystępnych cynku, ołowiu i kadmu w glebie wynosiły odpowiednio: 43,2 – 47,1; 23,1 – 24,6 i 0,31 – 0,38 mg·kg⁻¹ s.m. i stanowiły: 55 – 63%; 60% – 66% oraz 40 – 47% zawartości „całkowitych”.

Wartości współczynników bioakumulacji (BF) poszczególnych metali były zbliżone (tab. 4.). Wartości współczynników BF cynku były najmniejsze po zastosowaniu największej dawki Rekultera i wynosiły w przypadku gorczycy od 1,9 do 4,5 (łodyga i liście) oraz od 1,86 do 2,75 (łuszczyzny i nasiona). W przypadku kapusty pekińskiej wartości współczynnika BF cynku były większe i wynosiły 1,76 – 6,95. Najmniejszą wartość współczynników BF ołowiu, tj. 0,02 (łuszczyzny i nasiona gorczycy), 0,12 (łodyga i liście gorczycy) i 0,07 (kapusta pekińska) zanotowano po zastosowaniu największej dawki Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym. Natomiast wartość współczynnika BF kadmu po zastosowaniu największej dawki Rekultera wynosiła od 0,12 (łodyga i liście gorczycy) do 0,29 (kapusta pekińska).

Tabela 4. Współczynniki bioakumulacji (BF)**Table 4.** Bio-accumulation indexes (BI)

| Dawka Rekultera (g · wazon ⁻¹) | Odczyn gleby pH _{KCl} | Gorzycza | | | | | | Kapusta pekińska | | |
|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|------|---------------------|------|------|------------------|------|------|
| | | łodyga i liście | | | łuszczyny i nasiona | | | Zn | Pb | Cd |
| | | Zn | Pb | Cd | Zn | Pb | Cd | | | |
| Kontrola „0” | 6,0 | 3,2 | 0,14 | 1,65 | 2,12 | 0,03 | 0,41 | 3,60 | 0,17 | 1,71 |
| | 5,0 | 4,3 | 0,18 | 1,80 | 2,40 | 0,04 | 0,72 | 5,15 | 0,20 | 2,60 |
| | 4,0 | 4,5 | 0,20 | 2,22 | 2,75 | 0,04 | 0,91 | 6,95 | 0,22 | 3,00 |
| 180 | 6,0 | 2,4 | 0,16 | 1,91 | 2,45 | 0,04 | 0,38 | 2,34 | 0,16 | 2,02 |
| | 5,0 | 2,9 | 0,20 | 2,26 | 2,39 | 0,05 | 0,57 | 2,36 | 0,22 | 2,10 |
| | 4,0 | 4,3 | 0,23 | 2,36 | 2,73 | 0,05 | 0,87 | 3,83 | 0,24 | 1,73 |
| 360 | 6,0 | 2,1 | 0,16 | 1,84 | 2,02 | 0,03 | 0,26 | 1,90 | 0,16 | 0,60 |
| | 5,0 | 2,8 | 0,18 | 2,11 | 2,04 | 0,03 | 0,56 | 3,05 | 0,17 | 0,71 |
| | 4,0 | 4,0 | 0,22 | 2,39 | 2,51 | 0,04 | 0,78 | 4,90 | 0,23 | 1,29 |
| 720 | 6,0 | 1,9 | 0,12 | 1,71 | 1,86 | 0,02 | 0,14 | 1,76 | 0,07 | 0,29 |
| | 5,0 | 2,2 | 0,15 | 1,93 | 2,05 | 0,03 | 0,52 | 1,99 | 0,11 | 0,61 |
| | 4,0 | 2,8 | 0,17 | 2,24 | 2,34 | 0,04 | 0,65 | 2,83 | 0,13 | 0,81 |

Objaśnienie: BF – stosunek zawartości metali ciężkich w suchej masie roślin i „całkowitej” zawartości w glebie.

4. WNIOSKI

1. Rekulter – preparat z węgla brunatnego – ma dużą wartość nawozową wyrażoną plonem roślin.
2. Pod wpływem materii organicznej dodanej do gleby zmniejszyła się bioprzystępność cynku, ołowiu i kadmu, a zatem ich pobranie przez gorzycę i kapustę pekińską.
3. Zawartość cynku, ołowiu i kadmu w gorzycy i kapuście pekińskiej była najmniejsza w wariancie z największą dawką Rekultera na glebie o odczynie lekko kwaśnym.
4. Pod względem zawartości cynku, ołowiu i kadmu gorzycza i kapusta pekińska wykazywała przydatność paszową.

PIŚMIENNICTWO

- BARAN A., JASIEWICZ CZ. 2009. Toksyczna zawartość cynku i kadmu w glebie dla różnych gatunków roślin. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 40: 157–164.
- 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.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. II. PWN, Warszawa.

- 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.
- KORZENIWSKA J., STANISŁAWSKA-GLUBIAK E. 2007. Reakcja trzech odmian gorczycy
białej na skażenie miedzią, cynkiem i niklem. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 32: 87–93.
- KWIATKOWSKA J. 2006. The effect of organic amendments on the phytoavailability of
heavy metals in polluted soil. *Ecohydrology & Hydrobiology* 6(1–4): 181–186.
- KWIATKOWSKA J., MACIEJEWSKA A. 2005. Wpływ materii organicznej na plon oraz za-
wartość i rozmieszczenie metali ciężkich w życie (*Secale cereale* L.). W: B. Gworek
(red.) *Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia. Tom III. IOŚ, Warszawa*: 319–322.
- KWIATKOWSKA-MALINA J., MACIEJEWSKA A. 2009. Wpływ materii organicznej na po-
bieranie metali ciężkich przez rzodkiewkę i facelię. *Ochrona Środowiska i Zasobów Na-
turalnych* 40: 217–223.
- 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. 2005. Wpływ materii organicznej z różnych źródeł
na plon oraz zawartość i rozmieszczenie makroelementów w życie (*Secale cereale* L.)
Fragmenta Agronomica (22) nr 1 (85): 484–492.
- MARCOTE I., HERNANDEZ T., GARCIA C., POLO A. 2001. Influence of one or two suc-
cessive 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 extrac-
ted from Brown coals. *Fuel Processing Technology* 84: 23–36.
- NARDI S., MORAMI F., BERTI A., KOSONI M., GIARDI L. 2004. Soil organic matter prop-
erties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers. *Europ. J. Agron.*
21: 357–367.
- SADY W., ROŻEK S., DOMAGAŁA-ŚWIĄTKIEWICZ I. 2000. Biokumulacja kadmu w marchwi
w zależności od wybranych właściwości gleb. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 364: 171–173.
- SKŁODOWSKI P., MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA J. 2006. The effect of organic mat-
ter from brown coal on bioavailability of heavy metals in contaminated soils. *Soil and
Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation. NATO Science Series IV.
Earth and Environmental Sciences* 69: 299–307.
- SIENKIEWICZ S., KRZEBIETKE S., PANAK H., CZAPLA J. 2005. Plony jęczmienia jare-
go i pszenicy jarej w zależności od nawożenia w wieloletnim doświadczeniu polowym.
Fragmenta Agronomica (22) nr 1 (85): 244–253.
- TYKSIŃSKI W., KURDUBSKA J. 2004. Różnice odmianowe w akumulacji kadmu i ołowiu
przez rzodkiewkę (*Raphanus Sativus* L.). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 356:
209–215.

- URE A. M. 1996. Single extraction schemes for soil analysis and related applications. *Sc. Total Environ.* 178: 3–10.
- WOŁOSZYK CZ., KRZYWY E., IŻEWSKAA. 2005. Ocena wartości nawozowej kompostów sporządzonych z komunalnego osadu ściekowego w trzyletnim zmianowaniu roślin. *Fragmenta Agronomica* (22) 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.