

WŁODZIMIERZ SADY, SYLWESTER SMOLEŃ

## **WPLYW CZYNNIKÓW GLEBOWO-NAWOZOWYCH NA AKUMULACJĘ METALI CIĘŻKICH W ROŚLINACH**

*Z Katedry Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych  
Akademii Rolniczej w Krakowie*

ABSTRACT. In this paper the influence of soil and fertilization factors on accumulation of heavy metals in plants was described.

**Key words:** heavy metals, vegetable, soil, fertilization

### **Wstęp**

Czynniki glebowe oraz nawozowe mają najsilniejszy wpływ na zawartość fitodostępnych frakcji metali ciężkich w glebie, a tym samym na poziom akumulacji tych pierwiastków w roślinach (**Gębski 1998, Kabata-Pendias i Pendias 1999**). Chociaż na stężenie dostępnych dla roślin form metali ciężkich w glebie wpływa również przebieg warunków klimatycznych, które w znacznym stopniu modyfikują właściwości gleby, a tym samym oddziałują na poziom zawartości tych pierwiastków w roślinach (**Kabata-Pendias i Pendias 1999, Sady i in. 1999**).

### **Czynniki glebowe**

Spośród fizykochemicznych właściwości gleby wpływających na ilość fitodostępnych form metali ciężkich decydującą rolę odgrywają: typ gleby, skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej, właściwości sorpcyjne, odczyn oraz potencjał oksydoredukcyjny (**Kabata-Pendias i Pendias 1999, Gębski 1998**).

### Typ gleby i skład granulometryczny

Całkowita zawartość metali ciężkich w glebie zależy przede wszystkim od rodzaju skały macierzystej oraz od czynników glebotwórczych, przy czym ilość tych pierwiastków w glebie (w poszczególnych jej poziomach) ulega zmianom wskutek oddziaływania czynników antropogenicznych i klimatycznych (**Hajduk 1998, Kabata-Pendias i Pendias 1999, Strączyńska i Strączyński 2000**).

Jak donoszą **Kabata-Pendias i Pendias (1999)** dla większości gleb, bez względu na ich typ, metale ciężkie związane są przede wszystkim z frakcją ilastą. **Trelak i Pietruch (2000)** po przebadaniu 48590 próbek gleb z różnych rejonów Polski stwierdzili stosunkowo słabą zależność między ilością Cd ogólnego w glebach a zawartością w nich frakcji spławialnej ( $R^2 = 10,49\%$ ) oraz frakcji koloidalnej ( $R^2 = 8,02\%$ ). **Piotrowska i Trelak (1997), Strączyńska i Strączyński (2000)** oraz **Właśniewski (2000)** nie stwierdzili zależności pomiędzy zawartością kadmu a składem granulometrycznym gleb. Odmienne wyniki w tym zakresie uzyskał **Lipiński (2000)**. Analiza 60 próbek gleb wykazała, iż gleby lekkie charakteryzowały się mniejszą koncentracją Cd niż gleby średnie i ciężkie. Zależność ta przełożyła się na zawartość kadmu w ziemniakach uprawianych na tych glebach. Bulwy ziemniaka z gleb lekkich akumulowały mniej Cd niż te rosnące na glebach średnich i ciężkich.

Odmienne wyniki uzyskiwane przez różnych autorów w zakresie związku pomiędzy zawartością frakcji spławialnej a ilością metali ciężkich mogą być następstwem stosowania różnych metodyk ekstrakcji tych pierwiastków z gleby. Wydaje się, że frakcja spławialna w glebach może silniej oddziaływać na ilość fitodostępnych form metali ciężkich, niż na całkowitą ich zawartość w glebach i przez to wpływać na pobranie i akumulację tych pierwiastków w roślinach.

### Substancja organiczna

Występująca w glebie substancja organiczna w postaci związków próchnicznych, jak i ta wprowadzana do gleby (podłoża) wraz z nawozami naturalnymi, organicznymi, organiczno-mineralnymi, przyczynia się do ograniczenia ilości dostępnych dla roślin form metali ciężkich, a tym samym uzyskania plonu charakteryzującego się obniżoną zawartością omawianych pierwiastków (**Gawęda 1995, Curyło i Jasiewicz 1998, Zaniwicz-Bajkowska 1998 b, c, 2000 a, b**).

Substancja organiczna w glebie wpływa na siłę, z jaką kwasowość gleby oddziałuje na rozpuszczalność metali ciężkich. Jednak wpływ ten zależy od wielkości cząstek materii organicznej, ilości strukturalnych związków humusowych, odczynu gleby, rodzaju i stężenia metalu w glebie (**Kabata-Pendias i in. 1993, Mercik i Kubik 1995**). Na glebach wzbogaconych w materię organiczną (np. obornik, torf, komposty, węgiel brunatny), zmniejsza się udział dostępnych dla roślin form metali ciężkich, a tym samym maleje ich toksyczność dla roślin (**Mercik i Kubik 1995, Gębski 1998**). Jak donoszą **Łabętowicz i Rutkowska (2001)** materia organiczna, wiążąc specyficznie metale ciężkie w związki nierozpuszczalne lub trudno rozpuszczalne w wodzie, ogranicza ich desorpcję do roztworu glebowego, a tym samym ich mobilność w glebie. Natomiast trwałość kompleksowych połączeń materia organiczna-metal zwiększa się wraz ze wzrostem stopnia jej rozkładu, jak i podniesieniem odczynu gleby.

**Mercik i Kubik** (1995) donoszą, że w celu ograniczenia pobierania metali ciężkich przez rośliny należy stosować wysokie dawki nawozów organicznych, które wolno ulegają procesom mineralizacji, oraz utrzymywać pH gleby w granicach odczynu obojętnego. Jak informują **Hao i Chang** (2002), 25-letnie nawożenie obornikiem w istotny sposób wpłynęło na zwiększenie stopnia wysycenia gleby pierwiastkami o charakterze zasadowym. Z kolei ta cecha gleby wywiera silny wpływ na ograniczenie akumulacji metali ciężkich w roślinach (**Gambuś** 1993).

Odrębne zagadnienie stanowi problem nawożenia gleb osadami ściekowymi. Osady te, w zależności od źródła pochodzenia, zawierają znaczne ilości metali ciężkich. W efekcie nawożenia osadami ściekowymi może nastąpić zwiększona akumulacja tych pierwiastków w plonie roślin (**Antoniadis** 1998). **Mc Bride** (2002) informuje, że nie ma jednoznacznego dowodu na to, iż Cd wprowadzony do gleby z osadami ściekowymi jest mniej fitodostępny od kadmu obecnego w glebie. Chociaż materia organiczna wprowadzana do gleby wraz z tymi osadami może ograniczać pobieranie Cd przez rośliny.

### Właściwości sorpcyjne

Metale ciężkie po dostaniu się do gleby są sorbowane wymiennie przez kompleks sorpcyjny, jak również podlegają procesowi sorpcji biologicznej – mikrobiologicznej immobilizacji. Ponadto metale ciężkie mogą również ulec wytrąceniu w postaci związków nierozpuszczalnych. Procesy te prowadzą do zmniejszenia zawartości wolnych form metali ciężkich w środowisku glebowym (**Chlopecka** 1994, **Łabętowicz i Rutkowska** 2001, **Majewska i Kurek** 2002).

Zawartość minerałów ilastych (frakcji splotalnej gleby) ma niewielki wpływ na ogólną ilość metali ciężkich w glebie (**Piotrowska i Trelak** 1997, **Trelak i Pietruch** 2000). Jednakże minerały te poprzez swoje właściwości sorpcyjne będą oddziaływać na obniżenie rozpuszczalności metali ciężkich (ilości form ruchliwych), a tym samym dostępności dla roślin tych pierwiastków w glebie (**Gębski** 1998, **Majewska i Kurek** 2002).

**Gambuś** (1993) informuje, że im większa jest całkowita kationowa pojemność gleby, tym wyższe mogą być w niej zawartości metali ciężkich, przy których można uzyskać plon charakteryzujący się dopuszczalnym poziomem akumulacji tej grupy pierwiastków. Potwierdzają to wyniki badań z marchwią uprawianą na różnych stanowiskach glebowych, w których najmniejszą zawartość kadmu ( $< 0,02 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ś.m}$ ) uzyskano w korzeniach spichrzowych marchwi uprawianej na glebach charakteryzujących się odczynem  $\text{pH}_{\text{KCl}} > 7,0$ ; zawartością  $\text{Ca} > 2920 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $\text{Mg} > 105 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , oraz wysyceniem kompleksu sorpcyjnego pierwiastkami o charakterze zasadowym powyżej  $V > 98\%$  (**Sady i in.** 1999, **Sady i in.** 2000 b, **Sady i Rożek** 2002).

Metale różnią się siłą, z jaką są wiązane przez kompleks sorpcyjny. Szereg wejść poszczególnych metali do kompleksu sorpcyjnego przedstawia się w następujący sposób  $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} \geq \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cd}$  – dla gleby piaskowej, oraz  $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cd}$  – dla gleby lessowej (**Gąsczyk i in.** 2000). Łatwość z jaką  $\text{Cd}^{2+}$  jest uwalniany z kompleksu sorpcyjnego powoduje to, że nawet na glebach z niską jego zawartością (na poziomie tak zwanego tła geochemicznego), bardzo łatwo może dojść do pobrania nadmiernej ilości tego pierwiastka przez rośliny. Dlatego też poszukuje się sposobów mających za zadanie ograniczenie ilości fitoprzyswajalnych form Cd oraz

innych metali ciężkich w glebie w celu uzyskania plonu roślin cechującego się niskim wskaźnikiem ich akumulacji.

Wprowadzenie do gleby substancji mogących zwiększyć pojemność sorpcyjną gleb (zeolitów, diatomitów oraz innych związków wykazujących właściwości sorpcyjne) wpływa na zmniejszenie ilości fitoprzyswajalnych form metali ciężkich w glebie (**Gwo-rek** 1992, **Gębski** 1998, **Sady i in.** 2000 a). Jednak właściwość ta najbardziej uwidacznia się przy odczynie kwaśnym, ponieważ wraz ze spadkiem odczynu gleby wzrasta stężenie rozpuszczalnych form metali ciężkich w roztworze glebowym (**Gębski** 1998). W doświadczeniu wazonowym (**Sady i in.** 2000 a) wykazano, iż doglebowe zastosowanie diatomitu wpłynęło na zmniejszenie akumulacji Cd w korzeniach marchwi uprawianej zarówno w obiektach z naturalną zawartością Cd w glebie ( $0,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), jak i na glebach skażonych tym pierwiastkiem (od  $0,87$  do  $1,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

Jednakże wzbogacenie gleby w substancje o właściwościach sorpcyjnych jest bardzo kosztowne. Ponadto, w zmiennych warunkach glebowo-klimatycznych, zabieg ten nie zawsze skutecznie ogranicza ilość fitoaktywnych form metali ciężkich w glebie.

### Odczyn gleby

Odczyn uważany jest za jeden z głównych czynników wpływających na formę, w jakiej metale ciężkie występują w środowisku glebowym oraz ich dostępność dla roślin (**Chlopecka** 1994, **Gębski** 1998, **Kabata-Pendias i Pendias** 1999). Obniżenie odczynu gleby do lekko kwaśnego i kwaśnego powoduje wzrost stężenia w roztworze glebowym, dostępnych dla roślin, ruchomych form metali ciężkich, a tym samym podwyższenie wskaźnika ich akumulacji w roślinach (**Chlopecka** 1994, **Gębski** 1998). Spowodowane jest to wzrostem rozpuszczalności chemicznych połączeń tych pierwiastków, jak również zmniejszeniem ich absorpcji na koloidach glebowych przy niskim odczynie gleby.

**Gębski** (1998) donosi, że najbardziej podatne na zmianę wartości pH są Cd i Zn. Ich mobilność rośnie już przy spadku pH poniżej 6-6,5, natomiast Cu i Pb właściwość tę wykazują dopiero przy  $\text{pH} < 5,0$ . **Tyler i Olsson** (2001) stwierdzili dwa wysokie poziomy koncentracji Cu i Pb w roztworze glebowym. Jeden przy  $\text{pH} 5,2-6,5$ , drugi zaś przy  $\text{pH} 7,5-7,8$ . Dzieje się tak najprawdopodobniej dlatego, że Cu i Pb wytwarzają w glebie stabilne kompleksy z różnymi ligandami, których rozpuszczalność związana jest z rozpuszczalnością substancji organicznej. Cu i Pb zostały zaliczone do grupy pierwiastków, których stężenie w roztworze glebowym jest „pozornie nieregularnie” związane z jego odczynem. Z kolei **Blake i Goulding** (2002) informują, iż aktywność Cd i Mn rośnie przy  $\text{pH} 6,0-5,5$ , zaś Zn, Ni, Cu przy  $\text{pH} 5,5-5,0$ , a Pb przy  $\text{pH} < 4,5$ . Badania **Nowak i Wojtasik** (1997) wykazały, że akumulacja Cd i Ni w plonie marchwi była wyższa na glebie lekkiej kwaśnej ( $\text{pH} 4,2-4,7$ ) niż na glebie ciężkiej o odczynie obojętnym ( $\text{pH} 7,0-7,5$ ), mimo że gleba ciężka zawierała dwukrotnie wyższą zawartość Cd i sześciokrotnie wyższą zawartość Ni niż gleba lekka. Wobec tego, to niski odczyn gleby lekkiej miał ogromny wpływ na wzrost stężenia fitoprzyswajalnych form tych metali w środowisku glebowym.

Jak wskazują wyniki badań **Zaniewicz-Bajkowskiej** (1998 a, b, c, 2000 a, b) zabieg wapnowania spowodował obniżenie zawartości w glebie dostępnych dla roślin form Cd i Pb w stosunku do gleby niewapnowanej, w skutek czego nastąpiło obniżenie akumulacji Cd i Pb w plonie kapusty, buraka ćwikłowego i sałaty uprawianych kolejno w pierw-

szym, drugim i trzecim roku po wapnowaniu. Jednakże podniesienie odczynu gleby nie zawsze powoduje zmniejszenie stężenia fitodostępnych form metali ciężkich w glebie. Jak informują **Kabata-Pendias i in.** (1993) w zakresie alkalicznego odczynu gleby może wzrastać mobilność metali ciężkich, najprawdopodobniej wskutek powstania ruchliwych metaloorganicznych kompleksów metali ciężkich z drobnocząsteczkową glebową substancją organiczną (**Gębski 1998, Majewska i Kurek 2002**). Te połączenia (metal + substancja organiczna) są łatwo przyswajalne przez rośliny. Zależność tę wydają się potwierdzać badania **Tylera i Olsona** (2001). Zatem na glebach bogatych w substancję organiczną zabieg wapnowania może spowodować okresowe zwiększenie ilości dostępnych dla roślin frakcji metali ciężkich w glebie.

### Potencjał oksydoredukcyjny

Fitodostępność metali ciężkich zależna jest w pewnym stopniu od zachodzących w glebie reakcji oksydoredukcyjnych. Mogą one zachodzić w glebie samorzutnie – wtedy ich tempo jest bardzo powolne. Potencjał oksydoredukcyjny uzależniony jest w znacznej mierze od działalności mikroflory glebowej (**Łabętowicz i Rutkowska 2001, Majewska i Kurek 2002**). Na tempo procesów utleniania i redukcji wpływają również fizykochemiczne właściwości gleby, takie jak odczyn czy stan uwilgotnienia.

Zastosowanie nawożenia organicznego przy niskim potencjale oksydoredukcyjnym gleby może prowadzić do zwiększenia stężenia rozpuszczalnych form metali ciężkich w środowisku glebowym. W takich warunkach substancja organiczna o szerokim stosunku C:N może kompleksować jony metali ciężkich, zwiększając ich mobilność (**Gębski 1998, Majewska i Kurek 2002**). **Chłopecka** (1994) informuje, że formy tlenkowe metali ciężkich przy niskim potencjale oksydoredukcyjnym gleby stają się łatwo dostępne dla roślin.

### Nawożenie mineralne

Wpływ nawożenia mineralnego na zawartość fitodostępnych form metali ciężkich wynika z jednej strony z tego, że stosowane nawozy jedno-, dwu-, oraz wieloskładnikowe oddziałują na szereg właściwości fizykochemicznych i biologicznych gleby, co powoduje zwiększenie lub obniżenie ilości fitodostępnych form metali ciężkich w środowisku glebowym. Z drugiej strony nawozy te zawierają pewne ilości metali ciężkich, które po wprowadzeniu do gleby podwyższają w niej stężenie fitodostępnych form tych pierwiastków (**Nowak i Wojtasik 1997, Gębski 1998, Sady i Rożek 2002**).

Do nawozów mineralnych najbardziej zanieczyszczonych metalami ciężkimi należą kolejno: fosforowe > wapniowe > potasowe > azotowe. Należy podkreślić, że największy wpływ na stopień zanieczyszczenia nawozów mineralnych metalami ciężkimi ma surowiec, z jakiego są produkowane oraz proces technologiczny, w którym one powstają (**Kabata-Pendias i Piotrowska 1987, Jarosz i Nowińska 1992, Gorlach i Gambuś 1997**).

**Nowak i Wojtasik** (1997) donoszą, iż na poziom akumulacji Cd i Ni w korzeniach marchwi w największym stopniu wpływa rodzaj zastosowanego nawozu wieloskładnikowego, a w mniejszym stopniu jego dawka. Zdają się to potwierdzać wyniki uzyskane przez **Sadego i Rożka** (2001).

### Nawożenie azotowe

Z dotychczasowych badań wynika, że wpływ nawożenia azotem na ilość fitodostępnych form metali ciężkich zależy od rodzaju nawozu azotowego, wielkości dawki i terminu stosowania tych nawozów.

Jak donosi **Gębski i Mercik** (1997) oraz **Gębski** (1998) stosowanie fizjologicznie zasadowych nawozów azotowych (saletra wapniowa, saletra sodowa) ogranicza pobieranie metali ciężkich przez rośliny. Jednakże **Maier i in.** (2002) wykazali, że zastosowanie saletry wapniowej spowodowało zwiększenie koncentracji Cd w bulwach ziemniaka w porównaniu do obiektu nawożonego  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , kiedy nie zastosowano węgla wapnia w celu regulacji odczynu gleby. W przypadku nawożenia roślin nawozami zawierającymi zredukowane formy azotu – siarczan amonu, mocznik (nawozy fizjologicznie kwaśne) – dochodzi do zwiększenia zawartości fitodostępnych form metali ciężkich w glebie wskutek obniżenia jej odczynu. Przyczynia się to do wzrostu akumulacji tych pierwiastków w roślinach (**Gębski i Mercik** 1997, **Gębski** 1998).

Wyniki badań **Uhera** (1995) wskazują, że wzrastająca dawka azotu (w przedziale 40-200 kg N · ha<sup>-1</sup>) spowodowała zwiększoną akumulację Cd, Zn i Ni, nie miała natomiast wpływu na poziom zawartości Pb i Cu w plonie marchwi. Ten sam autor nie znalazł istotnych różnic w zawartości kadmu w korzeniach marchwi uprawianej w obiektach z przedsewnym i pogłównym nawożeniem azotem. Natomiast termin nawożenia miał istotny wpływ na akumulację ołowiu w korzeniach marchwi, przy czym zależał on od rodzaju zastosowanego nawozu.

### Nawożenie fosforowe

Stosowane nawozy fosforowe mogą być znaczącym źródłem skażenia gleb metalami ciężkimi, a zwłaszcza kadmem. Średnia zawartość pierwiastków śladowych w nawozach fosforowych układa się w następującej kolejności Cd < Cu < Pb < Ni < Zn, przy znacznym zróżnicowaniu poziomu ich zawartości w zależności od formy nawozu (**Gorlach i Gambuś** 1997). Różny jest też stopień rozpuszczalności i dostępności dla roślin metali ciężkich w nawozach fosforowych. **He i Singh** (1994) wykazali wyższy współczynnik przeniesienia kadmu do roślin z superfosfatu (a także z nawozów NPK), niż z mączki fosforytowej.

Przy wyższych zawartościach łatwo rozpuszczalnych fosforanów w glebie mogą wytrącić się trudno rozpuszczalne fosforany cynku, miedzi, kadmu i ołowiu (**Brümmer i in.** 1986, **Japony i Young** 1994), co może prowadzić do korzystnego wpływu nawożenia fosforowego na zmniejszenie akumulacji metali ciężkich w roślinach. Jednak **Gawęda** (1998) nie stwierdziła istotnego wpływu nawożenia fosforem do poziomu 50, 200 i 800 mg P · kg<sup>-1</sup> gleby na zawartość Pb w liściach szpinaku i sałaty, w zgrubieniach rzodkiewki oraz korzeniach marchwi. Z kolei **Gorlach i Gambuś** (1991) informują, iż nawożenie fosforanem monopotasowym obniża akumulację Cu, Cd, Ni, Pb i Zn w owsie i kukurydzy jednak w znacznie mniejszym stopniu w porównaniu do zabiegu wapnowania.

### Nawożenie potasowe

W zależności od formy nawozu potasowego, może dojść do zwiększenia lub zmniejszenia ilości dostępnych dla roślin form metali ciężkich w glebie, przy czym uzależnione jest to od rodzaju metalu oraz fizykochemicznych właściwości gleb.

Metale ciężkie pochodzenia antropogenicznego zatrzymywane są w powierzchniowej warstwie gleby, a ich przemieszczanie się w glebie jest bardzo powolne (**Kabata-Pendias i in.** 1993). Jak wynika z badań **Gębskiego i Sommera** (1997) oraz **Gębskiego** (1997), zastosowanie KCl powoduje wyższe wymycie Cd, Cu, Pb i Al z gleby w porównaniu do nawożenia potasem w formie siarczanowej ( $K_2SO_4$ ). Zatem nawożenie  $K_2SO_4$  może obniżyć desorpcję metali ciężkich (głównie Cd) w glebie, a tym samym obniżyć ich akumulację w roślinach w porównaniu do nawożenia KCl. Jednak **Bednarek i Lipiński** (1997) nie stwierdzili istotnego wpływu tych dwóch soli potasowych na ilość dostępną dla roślin Cd i Ni w glebie.

### Literatura

- Antoniadis V.** (1998): Heavy metal availability and mobility in sewage sludgetreated soils. Thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. The University of Reading Department of Soil Science.
- Bednarek W., Lipiński W.** (1997): Kadm i nikiel w glebie przy zróżnicowanym nawożeniu mineralnym. Zesz. Prob. Post. Nauk. Roln. 448a: 35-40.
- Blake L., Goulding K.W.T.** (2002): Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. Plant and Soil 240: 235-251.
- Brümmer G.W., Gerth J., Herms U.** (1986): Heavy metals species, mobility and availability in soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 149: 382-389.
- Chlopecka A.** (1994): Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartość w roślinach. IUNG Seria R.
- Curylo T., Jasiewicz C.** (1998): Porównanie wpływu wieloskładnikowych nawozów organiczno-mineralnych i mineralnych na plonowanie oraz pobieranie metali ciężkich przez rośliny. Fol. Univ. Agr. Stet.-Agr. 72: 35-41.
- Gambuś F.** (1993): Metale ciężkie w wierzchniej warstwie gleb i w roślinach regionu krakowskiego. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Rozp. habil.: 176.
- Gąsczyk R., Muszyński P., Paszko T.** (2000): Wpływ metali ciężkich na sorpcję kadmu w glebach mineralnych. Kadm w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko” PAN. 26: 93-99.
- Gawęda M.** (1995): The effect of organic matter in soil on the lead level in edible parts of lettuce and carrot. Acta Hort. 379: 221-228.
- Gawęda M.** (1998): Rola niektórych składników podłoża w ograniczaniu akumulacji ołowiu przez wybrane gatunki warzyw korzeniowych i liściowych oraz ich znaczenie dla zachowania wartości biologicznej roślin. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Rozp. hab. z. 240.
- Gębski M.** (1997): Aktywność Cd a zmiany pH roztworu glebowego przy stosowaniu KCl lub  $K_2SO_4$  w warunkach laboratoryjnych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 448a: 117-123.
- Gębski M.** (1998): Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. Post. Nauk Roln. 5: 3-16.
- Gębski M., Mercik S.** (1997): Effectiveness of fertiliser from in acumulation of zinc, cadmium and lead in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Red beet (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.). Ecological aspects of nutrition and alternatives for herbicides in horticulture – Int. Sem. Warsaw: 23-25.

- Gębski M., Sommer K.** (1997): Wpływ formy nawozów potasowych i magnezowych na mobilność metali ciężkich w glebie lekkiej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 439: 133-140.
- Gorlach E., Gambuś F.** (1991): The effect of liming, adding peat, and phosphorus fertilization on the uptake of heavy metals by plants. *Pol. J. Soil Sci. Vol. XXIV/2:* 199-204.
- Gorlach E., Gambuś F.** (1997): Nawozy fosforowe i wieloskładnikowe jako źródło zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 448a: 139-146.
- Gworek B.** (1992): Wpływ zeolitów na pobieranie kadmu przez rośliny. *Arch. Och. Środ.* 3-4: 149-156.
- Hajduk E.** (1998): Zawartość Ni i Pb a niektóre właściwości gleb narażonych na oddziaływanie przemysłu w wybranych rejonach południowo-wschodniej Polski. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie.* Nr 330, Ses. Nauk. 54: 19-31.
- Hao X., Chang C.** (2002): Effect of 25 annual cattle manure applications on soluble and exchangeable cations in soil. *Soil Sci.* 2 (2): 126-134.
- He Q.B., Singh B.R.** (1994): Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield and cadmium content. *Water, Air, and Soil Poll.* 74: 251-265.
- Japony W., Nowińska Z.** (1992): Zawartość metali ciężkich w nawozach mineralnych i wapnie odpadowym. *Post. Nauk Roln.* 4: 39-43.
- Jarosz W., Nowińska Z.** (1992): Zawartość metali ciężkich w nawozach mineralnych i wapnie odpadowym. *Post. Nauk Roln.* 4: 39-43.
- Kabata-Pendias A., Pendias H.** (1999): *Biogeochemia pierwiastków śladowych.* Wyd. II. PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M.** (1987): Pierwiastki śladowe jako kryterium rolniczej przydatności odpadów. *IUNG Puławy, Seria P,* 39.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Witek T.** (1993): Ocena jakości i możliwości rolniczego użytkowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *IUNG Seria P.* 53: 5-14.
- Lipiński W.** (2000): Zawartość kadmu w glebach o różnym składzie granulometrycznym oraz w ziarnie pszenicy i bulwach ziemniaka. Kadm w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. *Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko” PAN.* 26: 109-113.
- Łabętowicz J., Rutkowska B.** (2001): Czynniki determinujące stężenie mikroelementów w roztworze glebowym. *Post. Nauk Roln.* 6: 75-85.
- Maier N. A., Laughlin M. J., Heap M., Butt M., Smart M.K.** (2002): Effect of nitrogen source and calcitic lime on soil pH and potato yield, leaf chemical composition, and tuber cadmium concentrations. *J. Plant Nut.* 25 (3): 523-544.
- Majewska M., Kurek E.** (2002): Mikroorganizmy – czynnikiem modyfikującym stężenie kadmu w roztworze glebowym. *Post. Nauk Roln.* 1: 3-13.
- Mc Bride M.B.** (2002): Cadmium uptake by crops estimated from soil total Cd and pH. *Soil Scie.* Vol. 167 (1): 62-67.
- Mercik S., Kubik I.** (1995): Chelatowanie metali ciężkich przez kwasy humusowe oraz wpływ torfu na pobieranie Zn, Pb, Cd przez rośliny. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 422: 19-30.
- Nowak W., Wojtasik A.** (1997): Zawartość kadmu i niklu w marchwi uprawianej na dwóch typach gleb przy zastosowaniu różnych nawozów wieloskładnikowych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 448a: 269-272.
- Piotrowska M., Trelak H.** (1997): Kadm w glebach Polski. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 448b: 251-257.
- Sady W., Gryś R., Rożek S.** (1999): Changes of nitrate and cadmium content in carrots as related to soil and climatic factors. *Folia Hort.* 11/2: 105-114.
- Sady W., Rożek S.** (2001): Usefulness of multicomponent fertilizers in carrot nutrition. *Veg. Crops. Res. Bull.* Vol. 54 (1): 53-59.
- Sady W., Rożek S.** (2002): The effect of physical and chemical soil properties on the accumulation of cadmium in carrot. *Acta Hort.* 571: 73-75.
- Sady W., Rożek S., Cebulak T.** (2000 a): Akumulacja kadmu w marchwi w zależności od zawartości tego pierwiastka w glebie i dawek diatomitu. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 364.* Sesja Nauk. 71: 167-170.



- Sady W., Rożek S., Domagała-Świątkiewicz I.** (2000 b): Biokumulacja kadmu w marchwi w zależności od wybranych właściwości gleb. Zesz. Nauk. AR Kraków, 364: 171-173.
- Strączyńska S. i Strączyński S.** (2000): Zawartość kadmu w glebach wytworzonych z różnych skał macierzystych masywu Śnieżnika. Kadm w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko” PAN. 26: 73-76.
- Trelak H., Pietruch C.** (2000): Kadm w poziomach powierzchniowych gleb użytków rolnych Polski. Kadm w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko” PAN. 26: 41-47.
- Tyler G., Olsson T.** (2001): Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity. *Europ. J. Soil Scie.* 52: 151-165.
- Uher A.** (1995): The effect of different nitrogen application rates and forms on the content of some heavy metals in carrots. *Zahradnictvi* 22 (2): 41-45.
- Właśniewski S.** (2000): Kadm w wybranych glebach północnej części regionu podkarpackiego. Kadm w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko” PAN. 26: 57-66.
- Zaniewicz-Bajkowska A.** (1998 a): Wpływ następczy nawożenia organicznego (międzyplony ozime, obornik, słoma) i wapnowania gleby na zawartość kadmu i ołowiu w korzeniach buraka ćwikłowego odm. Czerwona kula. W: VII Konf. Nauk. „Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodnich” Lublin 8-9 czerwca 1998: 184-186.
- Zaniewicz-Bajkowska A.** (1998 b): Zawartość w glebie dostępnych dla roślin form kadmu i ołowiu w pierwszym roku po zastosowaniu wapnowania oraz po nawożeniu organicznym w postaci międzyplonów ozimych, obornika i słomy. W: VII Konf. Nauk. „Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodnich” Lublin 8-9 czerwca 1998: 187-190.
- Zaniewicz-Bajkowska A.** (1998 c): Zawartość w glebie dostępnych dla roślin form kadmu i ołowiu w drugim roku po zastosowaniu wapnowania oraz po nawożeniu organicznym w postaci międzyplonów ozimych, obornika i słomy. W: VII Konf. Nauk. „Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodnich”. Lublin 8-9 czerwca 1998: 191-194.
- Zaniewicz-Bajkowska A.** (2000 a): Następczy wpływ nawożenia organicznego i wapnowania na pH gleby, zawartość kadmu i ołowiu w glebie i w sałacie kruchej odmiany Samba uprawianej w trzecim roku po nawożeniu. *Ann. UMCS Sectio EEE Hort.* 8, Supp.: 183-188.
- Zaniewicz-Bajkowska A.** (2000 b): 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.