

Agnieszka Baran*, Czesława Jasiewicz**

**TOKSYCZNA ZAWARTOŚĆ CYNKU I KADMU W GLEBIE
DLA RÓŻNYCH GATUNKÓW ROŚLIN**

**THE TOXICITY CONTENT OF ZINC AND CADMIUM IN SOLI
TO DIFFERENT PLANT SPECIES**

Słowa kluczowe: toksyczność, cynk, kadm, len, groch, wyka, gorczyca, współczynnik bioakumulacji i translokacji.

Key words: toxicity, zinc, cadmium, flax, pea, vetch and white mustard, bioaccumulation and translocation coefficient.

The experiment was carried out in the vegetation hall on the typical light loamy soil (pH = 6.2). Simulation of soil contamination with zinc and cadmium on the three level was applied, according to scheme: 1st level – 50 mg Zn, 2 mg Cd; 2nd level – 250 mg Zn, 10 mg Cd; 3rd level – 750 mg Zn, 30 mg Cd · kg⁻¹ and control object. In the experiment plants: flax, pea, vetch and white mustard were tested.

1. WPROWADZENIE

Nadmiar metali ciężkich, zarówno niezbędnych dla roślin (cynk), jak i niespełniających funkcji metabolicznych (kadm), jest niekorzystny dla ich plonowania [Baran i in. 2008]. Jak podają liczni autorzy rośliny charakteryzuje różna wrażliwość na nadmiar cynku i kadmu, toteż ważnym czynnikiem determinującym fitotoksyczność tych metali jest gatunek rośliny, a nawet jej odmiana [Łyszcz, Ruszkowska 1991, Spiak i in. 2000, Chardonnes i in. 1998, Korzeniowska, Stanisławska-Głubiak 2007]. Różna wrażliwość roślin na kadm i cynk umożliwia selekcję roślin zdolnych do wzrostu w koncentracjach toksycznych dla innych roślin [Foy i in. 1978, Kuboi i in. 1986, Stanisławska-Głubiak, Korzeniowska 2005]. Z wielu badań

* *Dr inż. Agnieszka Baran – Katedra Chemii Rolnej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; tel. 12 662 43 41; e-mail: baranaga1@wp.pl*

** *Prof. dr hab. Czesława Jasiewicz – Katedra Chemii Rolnej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; tel. 12 662 43 41; e-mail: rrjasiew@cyfr-kr.edu.pl*

wynika, że gatunki z rodziny motylkowatych wykazują małą zdolność akumulacji kadmu, gatunki natomiast z rodziny traw, liliowatych, dyniowatych, baldaszkowatych charakteryzuje średnia zdolność akumulacji tego metalu. Wysoką zdolność do akumulacji kadmu wykazują gatunki należące do rodziny komosowatych, krzyżowych, złożonych, psiankowatych [Foy i in. 1978, Kuboi i in. 1986].

Podział roślin na grupy pod względem wrażliwości na nadmiar cynku przedstawiono w badaniach Stanisławska-Glubiak, Korzeniowska [2005]. Według tych autorek do roślin o wysokiej wrażliwości na nadmiar cynku w glebie należy zaliczyć kukurydzę, pszenicę, jęczmień; do roślin o średniej wrażliwości na nadmiar tego metalu – lucernę, groch, sałatę, pomidor, szpinak, a do roślin o niskiej wrażliwości: ziemniaki, koniczynę, fasolę.

Celem przeprowadzonych badań było porównanie wrażliwości czterech gatunków roślin (Inu, grochu, wyki i gorczyca białej) na skażenie gleby cynkiem i kadmem oraz ocena wpływu dużych dawek tych metali na zawartość i mobilność cynku i kadmu w roślinach testowych.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania prowadzono w warunkach hali wegetacyjnej na glebie lekkiej o składzie granulometrycznym piasku słabogliniastego i odczynie obojętnym ($\text{pH} = 6,2$). Glebę charakteryzowała podwyższona zawartość cynku i kadmu – stopień I (62 mg Zn , $0,68 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$) [Kabata-Pendias i in. 1993]. Doświadczenie prowadzono w czterech powtórzeniach, w wazonach o pojemności 2 kg powietrznie suchej gleby. W doświadczeniu zastosowano symulowane zanieczyszczenie gleby cynkiem i kadmem w trzech poziomach oraz obiekt kontrolny bez dodatku cynku i kadmu: 0 – (Zn_0Cd_0), I – 50 mg Zn i 2 mg Cd (Zn_1Cd_1), II – 250 mg Zn i 10 mg Cd (Zn_2Cd_2), III – 750 mg Zn i 30 mg Cd (Zn_3Cd_3) $\cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby. Na wszystkich obiektach doświadczalnych zastosowano jednakowe podstawowe nawożenie mineralne, dodając do gleby $0,225 \text{ g N}$ w formie NH_4NO_3 , $0,14 \text{ g P}$ w postaci KH_2PO_4 oraz $0,275 \text{ g K}$ w postaci $\text{KCl} \cdot \text{kg}$ s.m. gleby.

Cynk w formie $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, kadm w formie $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ oraz sole mineralne w podanych wyżej dawkach wprowadzono przed siewem roślin testowych. Jako rośliny testowe wykorzystano len i groch, wykę i gorczycę białą.

Rośliny zbierano po 30-dniowym okresie wegetacji. Wszystkie rośliny po zbiorze suszono, określano masę plonów i obliczano indeks tolerancji w odniesieniu do badanych roślin [Baran i in. 2008]. Następnie materiał roślinny rozdrabniano w młynku laboratoryjnym i poddawano analizie chemicznej. Zawartość cynku, kadmu w materiale roślinnym oznaczano po suchej mineralizacji i roztworzeniu popiołu w HNO_3 (1:3).

W uzyskanych ekstraktach stężenie pierwiastków oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej opartej na palniku indukcyjnie wzbudzonej plazmy (ISP-AES), na aparacie JY 238 ULTRACE Jobin Von Emission. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie

z uwzględnieniem analizy wariancji i testu NIR przy poziomie istotności $\alpha < 0.05$ oraz wyliczono współczynnik korelacji prostej Pearsona, wykorzystując program Statistica 8.1.

3. WYNIKI

Zawartość analizowanych pierwiastków była zróżnicowana w zależności od dawki cynku i kadmu, gatunku rośliny i analizowanych części roślin (tab.1). W badaniach wykazano, że wraz ze wzrostem stopnia zanieczyszczenia gleb cynkiem i kadmem zwiększała się istotnie zawartość tych metali w badanych roślinach. Ponadto każda zastosowana dawka cynku i kadmu zmniejszała plon roślin [Baran i in. 2008], a w przypadku lnu, wyki i gorczycy dawka 750 mg Zn i 30 mg Cd (Zn_3Cd_3) powodowała wyginiecie tych roślin. Analizując zawartość cynku i kadmu w poszczególnych częściach roślin, większą ich ilość stwierdzono w korzeniach niż w częściach nadziemnych. Korzenie lnu zawierały cynku od 1,5 do 2,95 razy, gorczycy od 1,4 do 2,6 razy oraz grochu od 0,6 do 1,9 razy więcej niż części nadziemne. Jeżeli chodzi o zawartość kadmu, wykazano natomiast, że korzenie roślin testowych zawierały go od 1 do 5 razy – len, od 2 do 4 razy – groch oraz od 2 do 3 razy – gorczyca więcej niż części nadziemne.

Tabela 1. Zawartość cynku i kadmu w roślinach

Table 1. The content of zinc and cadmium in plants

Dawka Zn i Cd	Zawartość cynku, mg · kg ⁻¹						
	len		groch		wyka	gorczyca	
	część nadziemna	korzeń	część nadziemna	korzeń		część nadziemna	korzeń
Zn ₀ Cd ₀	93,98	140,82	91,55	179,36	86,99	39,05	101,82
Zn ₁ Cd ₁	303,98	895,31	443,65	279,36	433,87	162,00	306,51
Zn ₂ Cd ₂	934,92	1869,83	777,29	1158,41	518,66	542,24	766,75
Zn ₃ Cd ₃	bp	bp	1440,00	1476,57	bp	bp	bp
NIR _{0,05}	32,98	242,37	517,70	64,42	49,95	234,81	427,35
Zawartość kadmu, mg · kg ⁻¹							
Zn ₀ Cd ₀	7,58	10,26	0,72	0,47	0,70	1,16	2,49
Zn ₁ Cd ₁	27,89	133,86	7,21	19,01	2,16	6,14	17,10
Zn ₂ Cd ₂	85,02	340,08	26,03	103,04	16,69	21,30	44,79
Zn ₃ Cd ₃	bp	bp	63,20	104,66	bp	bp	bp
NIR _{0,05}	2,37	46,47	7,29	3,18	1,27	6,00	49,66

Objaśnienie: bp* – brak plonu.

Biomasa nadziemna lnu zawierała cynku o 3 (Zn_1Cd_1) i 10 (Zn_2Cd_2) razy, grochu 5 (Zn_1Cd_1), razy (Zn_2Cd_2) 8 i (Zn_3Cd_3) 16 razy oraz gorczycy (Zn_1Cd_1) 4 i (Zn_2Cd_2) 14 razy więcej w porównaniu do zawartości na obiekcie bez dodatku metali. Jeżeli chodzi o zawartość kadmu wykazano, że części nadziemne lnu zawierały tego metalu (Zn_1Cd_1) 3 i (Zn_2Cd_2) 4

razy, grochu (Zn_1Cd_1) 5, (Zn_2Cd_2) 55 i (Zn_3Cd_3) 134 razy, a gorczycy (Zn_2Cd_2) 5 i (Zn_3Cd_3) 18 razy więcej niż rośliny z obiektu kontrolnego. W wyce zawartości te wyniosły odpowiednio (Zn_1Cd_1) 5 i (Zn_2Cd_2) 6 razy więcej cynku oraz (Zn_1Cd_1) 3 i (Zn_2Cd_2) 24 razy więcej kadmu. W korzeniach roślin stwierdzono, że wraz ze wzrostem stopnia zanieczyszczenia gleby cynkiem i kadmem korzenie lnu zawierały od 6 do 13 razy więcej cynku i od 3 do 13 razy więcej kadmu; korzenie grochu od 2 do 16 razy więcej cynku i od 26 do 145 razy więcej kadmu oraz korzenie gorczycy od 3 do 8 razy więcej cynku i od 7 do 18 razy więcej kadmu w porównaniu do korzeni tych roślin z obiektu kontrolnego (tab. 1).

W celu oceny stopnia i kierunku przemieszczania się cynku i kadmu w roślinach testowych wyliczono ich współczynniki translokacji i bioakumulacji.

Wartość współczynnika bioakumulacji (WB) odzwierciedla zdolność roślin do pobierania metalu z gleby oraz informuje o przemieszczeniu się tego metalu z roztworu glebowego do części nadziemnych rośliny i korzeni [Piotrowska i in. 1992, Gorlach 1995, Grzebisz i in. 1998, Jasiewicz, Antonkiewicz 2000]. Wskaźnik ten jest stosunkiem zawartości metalu w roślinie do jego ilości w glebie. Współczynnik translokacji (WT) wykorzystano do określenia mobilności cynku i kadmu w badanych roślinach [Jasiewicz, Antonkiewicz 2000]. Parametr ten obliczono jako stosunek zawartości cynku w częściach nadziemnych do zawartości w korzeniach.

Większą akumulację cynku w korzeniach roślin testowych w stosunku do części nadziemnych potwierdzają również niskie wartości współczynników translokacji WT cynku i kadmu (tab. 2).

Tabela 2. Współczynnik translokacji (WT) cynku i kadmu

Table 2. Translocation coefficient zinc and cadmium

Dawka Zn i Cd	Cynk			Kadm		
	len	groch	gorczyca	len	groch	gorczyca
Zn_0Cd_0	0,67	0,51	0,38	0,74	0,65	0,46
Zn_1Cd_1	0,34	1,59	0,53	0,21	0,38	0,36
Zn_2Cd_2	0,50	0,67	0,71	0,25	0,25	0,48
Zn_3Cd_3	bp	0,98	bp	bp	0,60	bp

Objaśnienie: bp – brak plonu.

Wraz ze wzrostem poziomu zanieczyszczenia gleby cynkiem do $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ i kadmem do $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (Zn_1Cd_1) len i gorczyca w największym stopniu gromadziły cynk i kadmu w korzeniach, wartości WT były najmniejsze (tab. 2). Największą akumulację cynku i kadmu w korzeniach grochu stwierdzono na obiekcie, gdzie zawartość tych metali wynosiła 250 mg Zn i $10 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (Zn_2Cd_2). Cynk w największym stopniu przemieszczał się do części nadziemnych z korzeni lnu, przy dawce Zn_0Cd_0 , Zn_1Cd_1 , grochu oraz przy dawce Zn_2Cd_2 z korzeni do części nadziemnych gorczycy, o czym świadczy największa wartość

współczynnika translokacji cynku w tych obiektach. W odniesieniu do kadmu wykazano nieco inną zależność, a mianowicie w obiekcie kontrolnym największą mobilność tego metalu stwierdzono z korzeni do części nadziemnych lnu i grochu, a do części nadziemnych gorczycy – w obiekcie z drugim poziomem zanieczyszczenia (Zn_2Cd_2). Spośród badanych roślin najmniejsze wartości współczynnika translokacji wykazano dla lnu, nie co większe dla gorczycy i największe dla grochu (tab. 2).

Największe wartości współczynników bioakumulacji WB_{Zn} i WB_{Cd} – zarówno dla części nadziemnych, jak i korzeni – wykazano przy pierwszym stopniu zanieczyszczenia gleby metalami (Zn_1Cd_1) (tab. 3). Stwierdzono ponadto większe wartości WB_{Zn} i WB_{Cd} korzeń/gleba niż część nadziemna/gleba, odpowiednio od 0,8- do 1,9-krotnie (ln), od 1,5- do 2-krotnie (groch), od 1,4- do 2,6-krotnie (gorczyca) dla WB_{Zn} oraz od 1,4- do 4,8-krotnie (ln), od 1,5- do 4-krotnie (groch), od 2,1- do 2,8-krotnie (gorczyca) dla WB_{Cd} . Potwierdza to większą zawartość cynku i kadmu w korzeniach badanych roślin niż w ich częściach nadziemnych. Spośród badanych roślin największe wartości WB_{Zn} i WB_{Cd} – zarówno w częściach nadziemnych, jak i korzeniach – stwierdzono dla lnu, a następnie dla grochu i wyki, najmniejsze zaś dla gorczycy (tab. 3)

Tabela 3. Wartości współczynników bioakumulacji (WB) cynku i kadmu

Table 3. Bioaccumulation coefficient zinc and cadmium

Dawka Zn i Cd	Len		Groch		Wyka	Gorczyca	
	Cz. n./ G	K/G	Cz. n./ G	K/G		Cz. n./ G	K/G
Współczynnik bioakumulacji WB_{Zn}							
Zn_0Cd_0	3,40	5,09	3,31	6,48	3,14	1,41	3,68
Zn_1Cd_1	3,92	11,56	2,19	3,61	5,60	2,09	3,96
Zn_2Cd_2	3,69	2,87	3,06	4,57	2,04	2,14	3,02
Zn_3Cd_3	bp*	bp	2,21	2,27	bp	bp	bp
Współczynnik bioakumulacji WB_{Cd}							
Zn_0Cd_0	8,90	12,04	0,55	0,84	0,82	1,35	2,92
Zn_1Cd_1	8,45	40,56	2,19	5,76	5,18	1,86	5,18
Zn_2Cd_2	6,97	27,88	2,13	8,45	3,67	1,75	3,67
Zn_3Cd_3	bp	bp	1,85	3,06	bp	bp	bp

Objaśnienia: bp – brak plonu, Cz. n./G – część nadziemna / gleba, K/G – korzeń / gleba.

Uzyskane wyniki świadczą, o największej zdolności akumulowania cynku i kadmu z gleby zanieczyszczonej tymi pierwiastkami przez len, a najmniejszej przez gorczycę. Oceniając stopień bioakumulacji cynku i kadmu, wykazano generalnie intensywną ich akumulację (W_b 1–10) zarówno w korzeniach, jak i w częściach nadziemnych. Jedynie w odniesieniu do grochu i wyki w obiekcie kontrolnym stwierdzono średnią (W_b 0,1–1) akumulację tych metali ciężkich.

Badania toksyczności mieszanin substancji chemicznych powinny uwzględniać możliwość ich interakcji. W wielu badaniach wykazano, że efekt działania cynku na akumulację

kadm w roślinach nie jest jednoznaczny. Istnieją wyniki badań, które świadczą o relacjach pozytywnych między kadmem i cynkiem. Nan i in. [2002], Dudka i in. [1996] wykazali, że wzrost dawki kadmu powoduje zwiększenie zawartości cynku w pszenicy, podobne relacje występują w sytuacji odwrotnej. Inni autorzy natomiast stwierdzili, że pod wpływem cynku następuje złagodzenie toksyczności kadmu zawartego w jęczmieniu [Wu, Zahang 2002]. Niewątpliwie na taki stan rzeczy ma wpływ to, że cynk i kadm wykazują wiele podobnych cech fizycznych i chemicznych, ponieważ należą do 12-tej grupy w układzie okresowym pierwiastków. Ponadto przeważnie występują razem w rudach i konkurują o pozycje ligandów. W prezentowanych tu badaniach wykazano istotną dodatnią korelację pomiędzy cynkiem i kadmem w Inie, gorczycy ($r=0,97$, $p \leq 0,001$) oraz grochu ($r=0,89$, $p \leq 0,001$).

4. DYSKUSJA WYNIKÓW

Reakcja rośliny na skażenie gleb cynkiem i kadmem zależy od wielu czynników, m.in. od jej gatunku, fazy wzrostu i rozwoju, od zastosowanych parametrów oceny wzrostu, od stężenia metali w glebie, czy też właściwości samej gleby. Liczni autorzy podają, że głównym czynnikiem determinującym wrażliwość rośliny na dany metal jest jej gatunek [Kuduk 1987, Roszyk i in. 1988, Korzeniowska, Stanisławska-Głubiak 2007]. Na podstawie wyników omawianych tu badań za najbardziej odporną roślinę na zanieczyszczenie gleb cynkiem i kadmem można uznać groch, ponieważ roślina ta plonowała nawet przy trzecim stopniu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkim, podczas gdy pozostałe rośliny wyginęły. Stosunkowo duże zawartości cynku i kadmu stwierdzono również w tkankach Inu, ale jednocześnie plon tej rośliny był w największym stopniu zmniejszony [Baran i in. 2008].

Przyczyny różnej reakcji badanych roślin na skażenie gleby cynkiem i kadmem należy szukać w odmiennym sposobie pobierania i przemieszczania tych metali z korzeni do części nadziemnych. Wprawdzie zastosowane duże dawki cynku i kadmu spowodowały istotne zwiększenie zawartości tych metali we wszystkich badanych roślinach, to jednak zaobserwowano znaczne różnice ilościowe w odniesieniu do poszczególnych gatunków. Mianowicie len zawierał znacznie mniej badanych metali w częściach nadziemnych niż gorczyca i groch, więcej cynku i kadmu było natomiast w korzeniach tej rośliny. Podobne rezultaty dla kukurydzy i owsa, tzn. dużą odporność tych roślin na toksyczne dawki cynku, wykazano w badaniach Łyszcz i Ruszkowskiej [1991], Piotrowskiej i in. [1992], Spiak i in. [2000] oraz Baran [2009]. Zdaniem wymienionych autorów większa wrażliwość roślin dwuliściennych (grochu, słoneczka, seradeli, gorczycy, gryki) na stres związany z zanieczyszczeniem gleb metalami ciężkimi wynika z przemieszczania dużych ich ilości z korzeni do części nadziemnych już w najwcześniejszych fazach rozwojowych. Różnice w odporności roślin na nadmiar cynku tłumaczy się też pojemnością systemu korzeniowego i stosunkiem jego masy do masy części nadziemnych [Łyszcz, Ruszkowska 1991].

Spośród badanych metali generalnie łatwiej był przemieszczany z korzeni do części nadziemnych cynk niż kadm, o czym świadczą większe wartości współczynnika translokacji cynku niż kadmu. Dostępność dla roślin badanych metali z gleby była w większym stopniu uzależniona od gatunku rośliny. Dla Inu pierwiastkiem łatwiej pobieranym był kadm, a dla grochu, wyki i gorczycy cynk. Niemniej jednak, jak podaje Korzeniowska i Stanisławska-Głubiak [2007], współczynników WT i WB nie można traktować jako wskaźników tolerancji roślin na nadmiar metali w glebie, ponieważ tylko w niewielu wypadkach współczynniki te są powiązane z odpowiednimi reakcjami w plonach, co również wykazano w omawianych badaniach w odniesieniu do Inu i grochu. Ponadto, o fitotoksyczności cynku i kadmu dla badanych gatunków roślin mogły decydować również interakcje z innymi pierwiastkami, które mają wpływ na przebieg procesów fizjologicznych.

5. WNIOSKI

1. Zanieczyszczenie gleby cynkiem i kadmem istotnie wpłynęło na zwiększenie zawartości tych metali w roślinach testowych, przy czym wykazano znaczne różnice ilościowe w odniesieniu do poszczególnych gatunków.
2. Len zawierał znacznie mniej Zn i Cd w częściach nadziemnych niż gorczyca i groch, więcej cynku i kadmu było natomiast w jego korzeniach.
3. Największą zdolności bioakumulowania cynku i kadmu z gleby zanieczyszczonej tymi pierwiastkami wykazano dla Inu, mniejszą dla grochu i wyki, a najmniejszą dla gorczycy.
4. Cynk był łatwiej przemieszczany z korzeni do części nadziemnych niż kadm, o czym świadczą większe wartości współczynnika translokacji cynku niż kadmu.
5. Dostępność badanych metali z gleby była w większym stopniu uzależniona od gatunku rośliny. Dla Inu pierwiastkiem łatwiej dostępnym był kadm, a dla grochu, wyki i gorczycy cynk.

PIŚMIENNICTWO

- BARAN A. 2009. Wpływ nawożenia cynkiem na plon i skład chemiczny kukurydzy. Rozprawa doktorska. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- BARAN A., JASIEWICZ CZ., KLIMEK A. 2008. Reakcja roślin na toksyczną zawartość cynku i kadmu w glebie. *Proceedings of EC Opole* 2, 2: 417–422.
- CHARDONNES A.N., BOOKUM W.N.T., KUIJPER I.D.J., VERKLEIJ J.A.C., ERNST W.H.O. 1998. Distribution of cadmium in leaves of cadmium tolerant and sensitive ecotypes of *Silene vulgaris*. *Physiol. Plant.* 104: 75–80.
- DUDKA S., PIOTROWSKA M., CHŁOPECKA A. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and metal contents of the plants. *Water Air Soil Pollut.* 76: 333–341.

- FOY C.D., CHANEY R.L., WHITE M.C. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 511–566.
- GORLACH E. 1995. Metale ciężkie jako czynnik zagrażający żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 321: 113–122.
- GRZEBISZ W., DIATTA J.B., BARŁÓG P. 1998. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny włókniste z gleb zanieczyszczonych emisjami huty miedzi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 460: 68–695.
- JASIEWICZ CZ., ANTONKIEWICZ J. 2000. Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny z gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Cz. II. Konopie siewne. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 472: 331–339.
- KABAT-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H., WITTEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *IUNG Puławy. P(53):* 1–20.
- KORZENIOWSKA J., STANISŁAWSKA-GLUBIAK E. 2007. Reakcja trzech odmian gorczycy białej na skażenie gleby miedzią, cynkiem i niklem. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 32: 87–93.
- KUBOI T., NOGUCHI A., MAZAK J. 1986. Family dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants. *Plan and soil* 92: 405–415.
- KUDUK CZ. 1987. Doświadczenia wazonowe z wpływem wysokich dawek cynku na rośliny. *Roczn. Glebozn.* XXXVIII 2(S): 151–160.
- ŁYSZCZ S., RUSZKOWSKA M. 1991. Zróżnicowana reakcja kilku gatunków roślin na nadmiar cynku. *Roczn. Glebozn.* XLII(3/4): 215–221.
- NAN Z.R., LI J.J., ZHANG J.M., CHENG G.D. 2002. Cadmium and zinc interaction and their transfer in soil – crop system under actual field. *Sci. Total Environ.* 285: 187–195.
- PIOTROWSKA M., DUDKA S., WIĄCEK K. 1992. Wpływ dawki metali ciężkich na plon oraz zawartość tych pierwiastków w kukurydzy (*Zea mays* L.). Cz. I. Cynk i kadm. *Arch. Ochr. Środ.* 2: 135–143.
- ROSZYK E., ROSZYK S., SPIAK Z. 1988. Toksyczna dla roślin zawartość cynku w glebach. *Roczn. Glebozn.* XXXIX: 57–69.
- SPIAK Z., ROMANOWSKA M., RADOŁA J. 2000. Toksyczna zawartość cynku w glebach dla różnych roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 471: 1125–1134.
- STANISŁAWSKA-GLUBIAK E., KORZENIOWSKA J. 2005. Kryteria oceny toksyczności cynku dla roślin. *IUNG-PIB:* 107.
- WU F.B., ZHANG G.P. 2002. Alleviation of cadmium – toxicity by application of zinc and ascorbic acid in barley. *J. Plant Nutr.* 25: 2745–2761.