

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin
e-mail: monika.kwiecien@up.lublin.pl

MONIKA KWIECIEN, TADEUSZ FILIPEK, JOLANTA DOMAŃSKA

Wpływ wapnowania, nawożenia fosforem oraz toksycznych dawek Cd i Zn na zawartość cynku w kukurydzy (*Zea mays* L.)

Influence of liming, phosphorus fertilization and toxic doses of Cd i Zn
on content of zinc in maize (*Zea mays* L.)

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu toksycznych ilości kadmu i cynku na zawartość cynku w kukurydzy, w warunkach stosowania intensywnego nawożenia fosforem (1P – 0,05 i 3P – 0,15 g P·kg⁻¹ gleby), oraz wapnowania gleby silnie zakwaszonej dużymi dawkami wapna zastosowanego w ilości równoważnej trzem kwasowościom hydrolitycznym. Do gleby wprowadzono 5 mg Cd·kg⁻¹ lub 500 mg Zn·kg⁻¹ na tle obiektu bez dodatku metalu (kontrola). Reakcję kukurydzy oceniono na podstawie zawartości Zn w częściach nadziemnych i korzeniach oraz pobrania cynku. Zawartość cynku w roślinie zależała od zastosowanych czynników doświadczalnych i części rośliny. Wapnowanie gleby silnie zakwaszonej (3 Kh) spowodowało obniżenie zawartości Zn w kukurydzy. Biomasa, zwłaszcza części nadziemne, zawierała mniej cynku w przypadku intensywnego nawożenia fosforem (0,15 g P·kg⁻¹) niż w obiektach z pojedynczą dawką fosforu (0,05 g P·kg⁻¹). Wapnowanie wpłynęło również na znaczne ograniczenie pobrania Zn przez kukurydzę w porównaniu z roślinami ze stanowisk niewapnowanych, w których pobranie Zn było wielokrotnie większe. Dodatkowo w niektórych obiektach z dodatkiem Cd odnotowano zmniejszone pobranie Zn przez rośliny w stosunku do obiektu kontrolnego, co można tłumaczyć antagonizmem między tymi pierwiastkami.

Słowa kluczowe: cynk, wapnowanie, nawożenie fosforem, kukurydza

WSTĘP

Cynk jest pierwiastkiem niezbędnym w procesach metabolicznych organizmów żywych. Przystawalność cynku przez rośliny jest duża ze względu na wysoką rozpuszczalność większości jego związków, zwłaszcza w glebach lekko kwaśnych i kwaśnych [Tere-

lak i in. 1995, Domańska 2009]. Zdaniem Maciejewskiej i Kotowskiej [1992] wzrost kwasowości gleby ma decydujący wpływ na rozpuszczalność cynku, a tym samym na jego aktywność i biodostępność.

Toksyczne działanie cynku na rośliny objawia się w postaci chlorotycznych i nekrotycznych zmian na liściach oraz osłabieniem kiełkowania nasion i ograniczeniem wzrostu. Natomiast nadmiar tego metalu w organizmach zwierzęcych jest jedną z głównych przyczyn występowania objawów nowotworowych [Kabata-Pendias i Pendias 1999].

Migracji cynku w środowisku sprzyja kwaśny odczyn gleby [Domańska 2009, Rogóż 2002, Spiak 1998], podczas gdy w warunkach gleb obojętnych lub zasadowych silnie zwapnowanych oraz przy dużym stężeniu jonów fosforanowych w roztworze glebowym dostępność tego pierwiastka dla roślin jest wyraźnie ograniczona [Gorlach i Gambuś 1991, Kabata-Pendias i Pendias 1999]. Dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin konieczne jest odpowiednie zaopatrzenie gleb w fosfor i cynk ze względu na antagonistyczne interakcje pomiędzy tymi pierwiastkami. W mineralnym żywieniu roślin obserwuje się ścisły związek pomiędzy wykorzystaniem cynku i fosforu. Wraz ze wzrostem zasobności gleb w fosfor przyswajalny zmniejsza się dostępność cynku dla roślin [Gianquinto i in. 2000, Patorczyk-Pytlik i in. 1992, Spiak i in. 2000, Zhu i in. 2001], dlatego wysoki poziom nawożenia fosforowego w pewnych warunkach może stać się czynnikiem ograniczającym pobieranie cynku przez rośliny [Marschner 1998].

Celem modelowego, wazonowego doświadczenia wegetacyjnego była ocena wpływu toksycznych dawek kadmu i cynku na zawartość i pobranie cynku przez kukurydzę w warunkach intensywnego nawożenia fosforem oraz wapnowania gleby silnie zakwaszonej.

MATERIAŁ I METODY

W pracy przedstawiono wyniki uzyskane w modelowym doświadczeniu wazonowym przeprowadzonym w hali wegetacyjnej Katedry Chemii Rolnej i Środowiskowej UP w Lublinie w 2000 r. Doświadczenie wykonano na kwaśnym materiale glebowym o składzie granulometrycznym piasku słabogliniastego, o wyjściowym pH_{KCl} 3,9 oraz kwasowości hydrolitycznej (Kh) równej $37,5 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$. Doświadczenie założono metodą kompletnej randomizacji w czterech powtórzeniach. Schemat doświadczenia obejmował 12 kombinacji (tab. 1).

Badania obejmowały trzy czynniki doświadczalne: 1) wapnowanie: bez wapnowania i z wapnowaniem; 2) nawożenie fosforem w dawkach: optymalnej – 1P i potrójnej – 3P; 3) dodatek pierwiastków śladowych: 0 – kontrola bez dodatku metalu oraz dodatek kadmu (Cd) lub cynku (Zn). Wapnowanie w formie CaCO_3 zastosowano jednorazowo przed założeniem doświadczenia w ilości odpowiadającej 3 wartościom kwasowości hydrolitycznej ($112,5 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$). Do badań użyto wazonów mieszczące $2,8 \text{ kg}$ gleby.

W seriach bez wapnowania i z wapnowaniem o zróżnicowanej dawce fosforu (1P i 3P) utworzono obiekty:

„0” – obiekt kontrolny bez dodatku pierwiastka;

„Cd” – dawka kadmu $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby w formie soli $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$;

„Zn” – dawka cynku $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby w formie soli $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$.

Nawożenie azotem ($0,2 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) w formie roztworu NH_4NO_3 zastosowano we wszystkich obiektach, rozkładając dawkę azotanu amonu na dwie równe części przed i

po wschodach. Natomiast fosfor w postaci superfosfatu pojedynczego pylistego (dawka pojedyncza – 0,05 g P·kg⁻¹ gleby; dawka potrójna – 0,15 g P·kg⁻¹ gleby) oraz potas w formie roztworu KCl (0,15 g K·kg⁻¹ gleby) zastosowano w całości przedsięwzięcia. Kadm i cynk wprowadzono do obiektów doświadczalnych jednorazowo przedsięwzięcia w postaci roztworu azotanu(V) kadmu i azotanu(V) cynku.

Tabela 1. Schemat doświadczenia
Table 1. The scheme of experiment

Wapnowanie Liming	Dawka fosforu Phosphorus rate	Dodatek metalu Metal addition		
Kontrola Control	1P	0	Cd	Zn
	3P	0	Cd	Zn
Z wapnowaniem With liming	1P	0	Cd	Zn
	3P	0	Cd	Zn

Rośliną testową była kukurydza (*Zea mays* L.) odmiany Contessa. Rośliny uprawiano w okresie wiosenno-letnim do wejścia w fazę kwitnienia. Siew roślin wykonano w III dekadzie kwietnia w ilości 10 nasion na wazon. Po wschodach rośliny przzerwano, pozostawiając po 4 rośliny w każdym wazonie.

W trakcie trwania doświadczenia utrzymywano wilgotność gleby na poziomie 60% połowej pojemności wodnej, uzupełniając wazony do stałej masy wodą destylowaną. Zbiór roślin przeprowadzono w początkowej fazie rozwoju generatywnego. Po zbiorze materiał roślinny dzielono na części nadziemne i korzenie.

Korzenie płukano w wodzie zwykłej, destylowanej i redestylowanej, a potem z częściami nadziemnymi suszono metodą suszarkową w temp. 60°C. Następnie określono wielkość biomasy części nadziemnych i korzeni. W suchej masie części nadziemnych i korzeni kukurydzy oznaczono zawartości cynku metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) [Alloway 1990] przy użyciu spektrofotometru Hitachi Z-8200 z polaryzacją Zeemana, po wcześniejszym zmineralizowaniu materiału roślinnego w stężonym kwasie siarkowym z dodatkiem 30% H₂O₂ w końcowej fazie mineralizacji [Ostrowska i in. 1991].

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowane w doświadczeniu czynniki: wapnowanie, nawożenie fosforem oraz dodatek kadmu i cynku wywarły znaczący wpływ na zawartość i pobranie cynku przez kukurydzę.

Zawartość cynku (tab. 2) w kukurydzy wahała się w bardzo szerokim zakresie, od 1,70 do 1700,0 mg·kg⁻¹ suchej masy. Duże różnice zawartości tego pierwiastka wystąpiły zarówno pomiędzy badanymi częściami biomasy kukurydzy (części nadziemne i korzenie), jak również w zależności od czynników doświadczalnych (wapnowanie, nawożenie fosforem, stosowanie cynku i kadmu).

Zawartość cynku w suchej masie części nadziemnych kukurydzy w obiektach bez dodatku cynku w serii wapnowanej nie przekraczała wartości 100 mg·kg⁻¹, przyjętej za graniczną w ocenie przydatności paszowej roślin [Kabata-Pendias i in. 1993]. Jednak

w biomacie części nadziemnych roślin uprawianych na glebie bardzo kwaśnej bez dodatku cynku zawartości wynosiły odpowiednio: 122,0 mg Zn·kg⁻¹ s.m. w obiekcie bez stosowania pierwiastków śladowych („0”) i 142 mg Zn·kg⁻¹ s.m. po zastosowaniu kadmu. W obiektach kontrolnych zarówno z pojedynczą (1P), jak i potrójną (3P) dawką fosforu dawka cynku 500 mg Zn·kg⁻¹ gleby okazała się toksyczna, rośliny wypadły i nie uzyskano wyników zawartości Zn w nadziemnej biomacie.

W obiektach z dodatkiem cynku sucha masa części nadziemnych zawierała 1,70 i 2,10 mg Zn·kg⁻¹, w przeciwieństwie do korzeni, które kumulowały znacznie więcej tego pierwiastka: 188,80 i 315,0 mg·kg⁻¹ s.m., odpowiednio w obiekcie wapnowanym (1P) i (3P).

Tabela 2. Zawartość Zn w kukurydzy, mg·kg⁻¹
Table 2. The content of Zn in maize, mg kg⁻¹

Obiekt – Object			Części nadziemne Aboveground parts	Korzenie Roots
Wapnowanie Liming	Dawka fosforu Phosphorus rate	Pierwiastek Element		
Kontrola Control	1P	0	122,0	204,0
		Cd	142,0	229,0
		Zn	X	X
	3P	0	90,0	188,0
		Cd	3,20	211,0
		Zn	X	X
Z wapnowaniem With liming	1P	0	2,50	49,0
		Cd	2,90	40,0
		Zn	2,10	188,80
	3P	0	2,10	57,0
		Cd	2,10	56,0
		Zn	1,70	315,0

X – brak biomasy rośliny – without biomass

Wpływ azotanu kadmu w dawce 5 mg Cd·kg⁻¹ gleby na zawartość cynku w suchej masie badanej rośliny nie był jednoznacznie ukierunkowany. Kukurydza pod wpływem kadmu reagowała zarówno wzrostem, jak i spadkiem zawartości cynku w porównaniu z obiektami kontrolnymi. W korzeniach kukurydzy stwierdzono wzrost zawartości cynku w obiektach bez wapnowania oraz zmniejszenie jego koncentracji w przypadku uprawy na glebie nawożonej CaCO₃ w porównaniu z obiektem kontrolnym. Natomiast w częściach nadziemnych badanej rośliny po zastosowaniu kadmu zanotowano wzrost zawartości Zn w obiektach z pojedynczą dawką fosforu, zarówno na glebie bardzo kwaśnej, jak i wapnowanej.

W przeprowadzonym doświadczeniu zwiększone nawożenie fosforem (3P) w większości obiektów powodowało zmniejszenie zawartości cynku w częściach nadziemnych kukurydzy, zarówno na glebie bardzo kwaśnej, jak i wapnowanej. Podobną zależność stwierdza wielu autorów [Gianquinto i in. 2000, Patorczyk-Pytlik i in. 1992, Spiak i in. 2000, Zhu i in. 2001]. Jednak nie stwierdzono tej zależności w przypadku korzeni, w których kumulacja Zn była większa w warunkach stosowania potrójnej dawki fosforu. Prawdopodobnie było to związane z dodatkowym ładunkiem cynku wniesionym z potrójną dawką superfosfatu pojedynczego, który zawierał 121 mg Zn·kg⁻¹ nawozu [Kwie-

cień 2004]. Nawozy fosforowe mogą być znaczącym źródłem mikroelementów i metali ciężkich, zwłaszcza kadmu, na co zwraca uwagę wielu autorów [Gorlach i Gambuś 1997, Górecki i in. 1992].

Otrzymane wyniki potwierdzają znaną już zależność dodatniego wpływu kwaśnego odczynu gleby na przyswajalność Zn dla roślin. Kukurydza uprawiana na glebie bez wapnowania (obiekt „0”) zawierała więcej cynku niż w analogicznych obiektach z glebą wapnowaną, co jest zgodne z doniesieniem innych autorów [Domańska i Filipek 2011], że wzrost kwasowości gleby powoduje zwiększenie przyswajalności cynku.

Korzenie kukurydzy zawierały znacznie więcej cynku niż części nadziemne. Podobną zależność stwierdzono w badaniach innych autorów [Domańska i Filipek 2011, Niemyska-Łukaszuk i in. 1998]. Duża zawartość cynku w korzeniach badanej rośliny najprawdopodobniej wynika z obecności bariery korzeniowej i jak podają Kabata-Pendias i Pendias [1999] zjawisko to dotyczy wielu metali.

Wapnowanie gleby istotnie zmniejszyło zawartość cynku w analizowanej roślinie, zarówno w częściach nadziemnych, jak i korzeniach. Podobną zależność stwierdza Rogóż [1996], który w doświadczeniu wazonowym z kukurydzą zanotował zmniejszenie zawartości cynku w częściach nadziemnych i korzeniach wraz ze wzrostem dawki wapna.

Pobranie cynku przez kukurydzę, jako funkcję biomasy i zawartości pierwiastka w roślinie, przedstawiono w tabeli 3.

Kukurydza jako roślina testowa w doświadczeniu wazonowym wykazywała różnice pobrania cynku z gleby, zarówno w zależności od zakwaszenia gleby (wapnowanie lub jego brak), dawki fosforu, jak i dodatku metalu do gleby (Cd lub Zn).

Ilość cynku pobrana przez kukurydzę z obiektów bez dodatku tego pierwiastka mieściła się w zakresie 0,10–4,64 mg Zn z wazonu. Natomiast w obiektach wzbogaconych w Zn w serii z wapnowaniem gleby pobranie cynku przez rośliny wynosiło 0,04 i 0,05 mg Zn (części nadziemne) oraz 0,66 i 1,84 (korzenie), odpowiednio dla mniejszej i większej dawki fosforu.

Tabela 3. Pobranie Zn przez kukurydzę, mg na wazon
Table 3. Uptake of Zn by maize, mg per pot

Obiekt – Object			Części nadziemne Aboveground parts	Korzenie Roots	Suma Sum
wapnowanie liming	wapnowanie liming	pierwiastek element			
Kontrola Control	pojedyncza single	0	4,64	2,21	6,9
		Cd	5,02	1,87	6,9
		Zn	X	X	X
	potrójna triple	0	3,68	1,93	5,6
		Cd	1,26	1,95	3,2
		Zn	X	X	X
Z wapnowaniem With liming	pojedyncza single	0	0,10	0,53	0,6
		Cd	0,11	0,42	0,5
		Zn	0,04	0,66	0,7
	potrójna triple	0	0,10	0,81	0,9
		Cd	0,10	0,75	0,9
		Zn	0,05	1,84	1,9

X – brak biomasy rośliny – without biomass

Wielokrotnie większe ilości cynku w mg na wazon rośliny pobrały z gleb niewapnowanych (1,26–5,02) niż z wapnowanych (0,04–1,84), co wynikało przede wszystkim z dużej koncentracji Zn w biomase kukurydzy. Zatem nawożenie gleby CaCO_3 zdecydowanie ograniczyło pobranie cynku przez kukurydzę w porównaniu z roślinami ze stanowisk niewapnowanych. W tych warunkach stwierdzono znacznie mniejsze pobranie Zn przez części nadziemne kukurydzy niż przez jej korzenie.

W obiektach na glebie kwaśnej stwierdzono wyraźny wpływ nawożenia fosforem na akumulację Zn w roślinach. Zastosowana w tym przypadku potrójna dawka nawozu fosforowego zarówno w obiektach z dodatkiem, jak i bez dodatku kadmu spowodowała zmniejszenie ilości pobranego Zn w porównaniu z pojedynczą dawką fosforu.

W warunkach wapnowania gleby silnie kwaśnej wzbogaconej w cynk zastosowanie zwiększonej dawki fosforu spowodowało ponaddwukrotny wzrost pobrania Zn przez korzenie kukurydzy.

Porównując ilości pobranego cynku w obiektach kontrolnych i z dodatkiem cynku ($500 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$), stwierdzono duże zróżnicowanie. Cynk zastosowany w dawce $500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na glebie kwaśnej okazał się toksyczny dla kukurydzy, co uniemożliwiło uzyskanie plonu nadziemnej biomasy z tych obiektów. Na glebie zwapnowanej we wszystkich obiektach rośliny akumulowały śladowe ilości cynku, co może mieć znaczenie w analizie roślin pod względem ich jakości paszowej. Brak jednoznacznych tendencji może być wynikiem przede wszystkim braku danych ze wszystkich obiektów oraz równoważenia się wyższych plonów biomasy uzyskanych w obiektach wapnowanych większymi zawartościami Zn w kukurydzy z obiektów na glebach silnie kwaśnych, decydujących o ogólnej wielkości pobrania z danego obiektu.

W roślinach z obiektów wzbogaconych w kadm pobranie cynku kształtowało się różnie w zależności od organu rośliny oraz danego obiektu w stosunku do obiektu kontrolnego. Jednak w większości obiektów dodanie kadmu do gleby obniżyło pobranie cynku przez kukurydzę w porównaniu z kontrolą.

Opisane w literaturze oddziaływanie antagonistyczne pomiędzy Zn i Cd [Kabata-Pendias i Pendias 1999] wyrażające się obniżeniem stężenia Zn w roślinach z podłoży bogatych w kadm potwierdzają wyniki uzyskane w obiekcie kontrolnym (3P) oraz wapnowanym (1P). W pozostałych obiektach dodatek Cd do gleby nawożonej fosforem nie wpłynął na pobranie Zn, co potwierdzają takie same wartości pobrania Zn uzyskane w odpowiadających im obiektach bez dodatku metali.

WNIOSKI

1. Z badanych czynników doświadczalnych, obejmujących wapnowanie, nawożenie fosforem oraz stosowanie pierwiastków śladowych (Cd, Zn), największy wpływ na zawartość i pobranie cynku wywarło wapnowanie w dawce odpowiadającej potrójnej kwasowości hydrolitycznej – 3Kh. W warunkach gleby zakwaszonej kukurydza gromadziła znacznie większe ilości cynku niż na glebie wapnowanej.

2. Biomasa, zwłaszcza części nadziemne kukurydzy, zawierała mniej Zn w warunkach stosowania potrójnej dawki fosforu ($0,15 \text{ g P}\cdot\text{kg}^{-1}$) niż w obiektach nawożonych pojedynczą dawką fosforu ($0,05 \text{ g P}\cdot\text{kg}^{-1}$).

3. Wpływ toksycznej dawki kadmu ($5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) na zawartość cynku w suchej masie kukurydzy nie był jednoznacznie ukierunkowany. Pod wpływem Cd zanotowano wzrost zawartości cynku, jak również spadek jego zawartości w częściach nadziemnych i korzeniach w porównaniu z obiektami kontrolnymi.

4. Pobranie cynku przez kukurydzę w dużym stopniu zależało od wielkości plonu biomasy rośliny i zawartości pierwiastka. Największe ilości cynku kukurydza pobrała z obiektów bez wapnowania, o czym zdecydowała głównie duża kumulacja Zn w korzeniach i częściach nadziemnych.

PIŚMIENNICTWO

- Alloway B., 1990. Heavy metals in soils. Blackie & Son Ltd, Glasgow and London.
- Domańska J., 2009. Soluble forms of zinc in profiles of selected types of arable soils. *J. Elementol.* 14(1), 55–62.
- Domańska J., Filipek T., 2011. Akumulacja cynku w kupkowie pospolitej w zależności od rodzaju gleby, pH oraz zanieczyszczenia Cd lub Pb. *Ochr. Środ. Zas. Nat.* 48, 67–73.
- Gianquinto G., Abu-Rayyan A., Tola L.D., Piccotino D., Pezzarossa B., 2000. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant and Soil* 220, 219–228.
- 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.* 24/2, 199–204.
- Gorlach E., Gambuś F., 1997. Nawozy fosforowe i wieloskładnikowe jako źródło zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 448a, 139–146.
- Górecki H., Pawełczyk H., Hoffman J., Górecka H., 1992. Surowce do produkcji nawozów fosforowych jako źródło mikroelementów i metali ciężkich. *Mat. VII Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”*. AR, Wrocław, 228–231.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T., 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ser. P(53), IUNG Puławy*, 1–20.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. *Wyd. Nauk. PWN Warszawa*.
- Kwiecień M., 2004. Toksyczność kadmu i cynku dla roślin w warunkach nawożenia fosforowego oraz wapnowania gleby. *Praca doktorska, AR, Lublin*.
- Maciejewska M., Kotowska J., 1992. Wpływ wapnowania na zawartość cynku w życicy trwałej przy zróżnicowanym nawożeniu fosforem. *Mat. VII Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”*. AR, Wrocław, 389–393.
- Marschner H., 1998. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, II ed.
- Niemyska-Lukaszuk J., Miechówka A., Mazurek R., Sołek-Podwika K., 1998. Wpływ odczynu gleb na zawartość Zn, Pb, Ni i Cd w roślinach wybranych użytków zielonych Pogórza Wielickiego i Podhala. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 456, 421–426.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. IOŚ, Warszawa.
- Patorczyk-Pytlik B., Spiak Z., Rubikowska B., Karoń B., 1992. Wpływ wieloletniego nawożenia fosforowego na zawartość cynku i manganu w glebach i roślinach. *Mat. VII Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”*. AR, Wrocław, 206–210.
- Rogóż A., 1996. Zawartość i pobranie niektórych mikroelementów i metali ciężkich przez słonecznik i kukurydzę w zależności od dawki wapna. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 434, 213–217.
- Rogóż A., 2002. Zawartość i pobranie pierwiastków śladowych przez rośliny przy zmiennym odczynie gleby. *Cz. I. Zawartość i pobranie miedzi, cynku oraz manganu przez rośliny*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 482, 439–451.

- Spiak Z., 1998. Wpływ odczynu gleby na pobranie cynku przez rośliny. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 456, 439–443.
- Spiak Z., Radoła J., Romanowska M., 2000. Wpływ nawożenia fosforowego i azotowego na pobranie cynku przez rośliny. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 471, 521–528.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K., 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 418, 45–60.
- Zhu Y.G., Smith S.E., Smith F.A., 2001. Zinc (Zn) – phosphorus (P) interaction in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. Ann. Bot. 88, 941–945.

Summary. The aim of this study was to estimate the influence of toxic Zn and Cd amounts on the Zn content in maize, cultivated on strongly acidified soil under conditions of intense phosphorus fertilization (1P – 0.05 and 3P – 0.15 g P·kg⁻¹ soil) and lime applied according to 3.0 Kh. The soils were amended with: 5 mg Cd·kg⁻¹ or 500 mg Zn·kg⁻¹ on the background of control object without metal addition. The response of maize was evaluated on the basis of Zn content in shoots and roots of the plant and uptake of the element. Zinc content in maize depended on experimental factors and part of plant. Liming strongly acidified soil reduced Zn concentration in maize. In objects with intensive phosphorus fertilization (0.15 g P·kg⁻¹) the aboveground parts of plant contained lower amounts of Zn than in objects with single phosphorus rate (0.05 g P·kg⁻¹). Liming clearly affected the decrease of Zn taken up by maize, as compared to the plants from unlimed objects. In some objects the addition of Cd to the soil caused decrease of Zn taken up by tested plants in comparison to the control object. That can be explained by antagonistic interactions Cd with Zn.

Key words: zinc, liming, phosphorus fertilization, maize