

## TOKSYCZNA ZAWARTOŚĆ CYNKU W GLEBACH DLA RÓŻNYCH GATUNKÓW ROŚLIN UPRAWNYCH

*Zofia Spiak, Magdalena Romanowska, Joanna Radola*

Katedra Chemii Rolniczej, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

### Wstęp

Cynk ze względu na wiele funkcji fizjologicznych, które pełni w roślinach, uważany jest za niezbędny dla nich składnik pokarmowy, ale z uwagi na zawartość w tkankach i wielkość pobrania zaliczany jest do mikroskładników. Ponieważ jednak dość powszechnie występuje w przyrodzie, a także jest składnikiem szeregu związków emitowanych do środowiska i substancji odpadowych stosowanych w rolnictwie, może ulegać znacznej kumulacji w glebie. Pociąga to za sobą nadmierne pobranie przez rośliny.

Rośliny wykazują na ogół dużą tolerancję na podwyższoną zawartość cynku w podłożu, niemniej jednak zbyt wysokie stężenie tego pierwiastka w glebie jest dla roślin szkodliwe z uwagi na łatwość jego gromadzenia się w częściach wegetatywnych i generatywnych, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie plonów i pogorszenie ich jakości [ALLAWAY 1968; BECKETT, DAVIS 1977; HARROD 1971; GORLACH, GAMBUŚ 1992].

Stopień tolerancji roślin w stosunku do cynku zależy przede wszystkim od formy w jakiej występuje, od jego rozpuszczalności i czynników bezpośrednio na nią wpływających, takich jak: odczyn gleby, skład granulometryczny, potencjał redox, zawartość substancji organicznych, a także zawartość podstawowych kationów, m.in. wapnia i magnezu. Podjęte badania miały więc na celu ustalenie wpływu wzrastających dawek cynku na przebieg vegetacji, plonowanie i pobieranie tego pierwiastka przez kilka gatunków roślin oraz określenie takich jego zawartości w różnych gatunkach gleb, które oddziałują toksycznie na procesy życiowe roślin.

### Materiał i metodyka

Badania prowadzono w warunkach hali wegetacyjnej na 26 glebach pobranych z pól uprawnych Dolnego Śląska, które wcześniej scharakteryzowano pod kątem składu granulometrycznego, odczynu, zawartości węgla organicznego oraz zasobności w podstawowe składniki pokarmowe. Skład granulometryczny oznaczono metodą Bouyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, odczyn w roztworze 1 mol  $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  metodą potencjometryczną, węgiel organiczny metodą

Westerhoffa, a fosfor i potas przyswajalny metodą Egnera-Riehma. Zawartość przyswajalnego magnezu określono stosując jako roztwór ekstrakcyjny  $0,025 \text{ mol CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Całkowitą zawartość cynku oznaczono poprzez trawienie gleb kwasem nadchlorowym, a jego formy rozpuszczalne ekstrahowano  $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  zachowując proporcję gleby do roztworu 1 : 10. Stężenie magnezu jak i obu form cynku oznaczono techniką płomieniową na absorpcyjnym spektrometrze atomowym. Doświadczenia wazonowe prowadzono przez 5 lat, zachowując w każdym roku badań takie same warunki wilgotności i podstawowego nawożenia, odmiany roślin i terminy siewu. O terminach zbiorów decydowały warunki pogodowe. Corocznie do doświadczeń używano zbiorów Wagnera o pojemności 15 kg gleby i stosowano jednakowe dla wszystkich obiektów podstawowe nawożenie mineralne, dodając do gleby 1 g N w formie  $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ , 0,5 g P w postaci  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , 0,8 g K w postaci KCl, 0,3 g Mg w postaci  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  na wazon oraz mikroelementy w formie wodnych roztworów ich łatwo rozpuszczalnych soli z wyłączeniem cynku. Cynk stosowano zawsze pod plon główny, przedsięwzię w postaci łatwo rozpuszczalnego siarczanu cynku w formie roztworu wodnego w ilościach odpowiadających 100, 250, 500  $\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby.

W ciągu całego okresu badań jako plon główny uprawiano owies odmiany Dragon, dokonując zbiorów w fazie dojrzałości pełnej. Jako poplon w pierwszym roku badań uprawiano gorczycę odmiany Borowska, w drugim seradellę odmiany Lacerta, a w pozostałych trzech latach grykę odmiany Hruszowska. Zbioru roślin poplonowych dokonywano w fazie kwitnienia. W ciągu całego okresu wegetacji wszystkie gleby w wazonach utrzymywano na tym samym poziomie wilgotności, wynoszącym 60% maksymalnej pojemności wodnej gleby, a braki uzupełniano wodą redestylowaną. W przypadku wystąpienia chorób grzybowych stosowano preparaty grzybobójcze. Wszystkie rośliny po zbiorach suszono, określano masę plonów i analizowano zgodnie z przyjętym celem badań metodami stosowanymi w laboratoriach chemiczno-rolniczych [GOUGH i in. 1979; GEMBARZEWSKI, KORZENIOWSKA 1990]. Każdorazowo po zakończeniu doświadczeń pobrano z wazonów próbki glebowe i oznaczano w nich odczyn, zawartość form rozpuszczalnych cynku, a także dodatkowo żelaza i manganu.

## Wyniki i dyskusja

Przeprowadzona analiza wykazała, że gleby przeznaczone do doświadczeń były zróżnicowane zarówno gatunkowo, jak i pod względem wielu właściwości (tab. 1). Spośród ogólnej liczby 26 gleb: 9 – to gleby lekkie, 9 – średnie, 8 – ciężkie. Odczyn tych gleb wahał się w granicach od pH 4,8 do pH 7,3, przy czym największy udział miały gleby lekko kwaśne i obojętne. Zawartość węgla organicznego wahała się od 0,47% w piaskach gliniastych do 1,51% w glinie średniej. Podobnie zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu wahała się od zawartości niskiej do bardzo wysokiej w poszczególnych glebach.

Oznaczone zawartości cynku całkowitego i jego form rozpuszczalnych nie odbiegały od ilości ogólnie spotykanych w polskich glebach uprawnych.

Uzyskane w doświadczeniach plony owsa i roślin poplonowych były zróżnicowane w zależności od dawki cynku na większości gleb użytych do doświadczeń (tab. 2). Podobnie jak wykazały wcześniejsze badania ŁYSZCZ i SELIGI [1991], KĄBATY-PENDIAS i WIĄCEK [1985] oraz KUDUKA [1987] w badaniach własnych na

wszystkich glebach lekkich już najniższe z zastosowanych dawek powodowały istotną obniżkę plonów doświadczalnych, przy czym gryka, gorczyca i seradela reagowały większą redukcją plonów na wzrastające dawki cynku niż owies. Według zaleceń BECKETTA i DAVIS [1977] oraz KIEKENS i CAMERLYNCKA [1992], oprócz wykazania istotnych różnic w plonowaniu roślin uprawianych przy podwyższonej koncentracji cynku w glebach, w badaniach własnych określono wielkość indeksu tolerancji ( $T_i$ ), który w ostatnich latach uznawany jest jako najbardziej miarodajny czynnik określania toksycznej dla roślin zawartości cynku w glebach, a definiowany jako stosunek wielkości plonu uzyskanego na glebie skażonej do plonu zebranego na glebie naturalnej. Indeks tolerancji przyjmować może wartości  $T_i < 1$ ,  $T_i = 1$ ,  $T_i > 1$ . Jeżeli jest niższy od jedności, oznacza zahamowanie wzrostu roślin, a czasem całkowite ich obumarcie, równy jedności – świadczy o braku wpływu podwyższonej koncentracji metalu na plonowanie, a wyższy od 1 informuje o pozytywnym oddziaływaniu cynku na wzrost i rozwój roślin.

Tabela 1; Table 1

Niektóre właściwości gleb doświadczalnych  
Some properties of experimental soils

Nr gleby No. soil	Frakcja Particles <0,02 mm (%)	pH w 1 mol KCl·dm <sup>-3</sup> pH in 1 mol KCl·dm <sup>-3</sup>	C org. Org. C (%)	mg·kg <sup>-1</sup> gleby mg·kg <sup>-1</sup> soil		Zn (mg·kg <sup>-1</sup> gleby) Zn (mg·kg <sup>-1</sup> soil)	
				P	K	całkowity total	rozpusz. soluble
1	22	6,3	1,32	187	260	105	3,1
2	33	5,3	1,51	250	665	97	7,2
3	43	5,6	1,34	234	215	164	11,0
4	17	7,0	1,94	250	450	85	4,0
5	22	6,2	0,78	191	255	96	7,4
6	14	4,8	0,47	22	60	98	9,4
7	18	6,0	1,99	109	373	80	14,0
8	22	5,2	1,32	87	212	80	10,4
9	36	5,3	1,51	109	551	140	7,2
10	12	7,3	0,75	109	108	52	15,8
11	27	6,5	1,42	109	349	93	36,0
12	23	5,6	1,06	77	224	58	21,2
13	14	5,7	1,06	87	162	69	20,8
14	12	7,3	0,75	110	108	52	15,8
15	27	6,5	1,42	110	349	93	36,0
16	23	5,6	1,06	77	224	58	21,2
17	14	5,7	1,06	87	163	69	20,8
18	39	5,7	1,07	56	199	57	9,0
19	42	7,0	0,82	105	288	53	9,8
20	47	6,2	0,71	49	241	38	8,2
21	33	6,0	1,07	30	207	61	10,8
22	15	5,5	0,75	109	108	52	15,8
23	17	5,5	1,42	109	349	93	36,0
24	49	6,9	2,26	250	355	75	15,0
25	46	6,3	1,98	250	625	71	14,2
26	46	7,1	2,91	250	470	89	18,1

Obliczony w badaniach własnych indeks tolerancji dla wszystkich badanych gleb i roślin doświadczalnych wskazuje na duży wpływ na jego wartość gatunku gleby jak i wysokości dawek cynku (tab. 2). Na wszystkich glebach już przy najniższej dawce cynku przybiera on wartości  $T_i < 1$ , ale przy wyższych dawkach gwałtownie spada osiągając wartości nawet 0,03.

Spadek plonowania na glebach średnich, jak wskazuje indeks tolerancji, był znacznie mniejszy i w większości przypadków był zauważalny przy wyższych dawkach cynku.

Tabela 2; Table 2

Średnie plony (g na wazon) oraz indeks tolerancji ( $T_i$ ) roślin doświadczalnych  
Mean yield (g per pot) and tolerance index ( $T_i$ ) of experimental plants

Gleby Soils	Obiekty (mg Zn·kg <sup>-1</sup> gleby) Doses of Zn (mg·kg <sup>-1</sup> soil)	Owies; Oats				Gryka Buckwheat		Gorczyca Mustard		Seradela Serradella	
		średni plon mean yield			$T_i$	śred. plon mean yield	$T_i$	śred. plon mean yield	$T_i$	śred. plon mean yield	$T_i$
		ziarno grain	słoma straw	razem total							
Lekkie Light n = 9	0	66,5	84,5	151,0	–	40,0	–	30,3	–	6,6	–
	100	63,7	81,5	145,2	0,96	18,0	0,45	26,5	0,87	2,6	0,39
	250	48,2	71,8	120,0	0,79	9,2	0,23	11,3	0,37	0,2	0,03
	500	30,0	42,6	72,2	0,47	5,7	0,14	0,0	–	0,0	–
NIR <sub>0,05</sub> ; LSD <sub>0,05</sub>		3,8	5,6	6,0		3,7		3,5		2,5	
Średnie Medium n = 9	0	73,3	95,2	168,5	–	38,1	–	32,6	–	11,3	–
	100	58,5	76,4	133,9	0,79	24,5	0,64	27,1	0,83	5,6	0,49
	250	57,8	75,1	132,9	0,78	22,6	0,59	14,8	0,45	4,2	0,37
	500	18,3	52,9	71,2	0,42	10,7	0,28	0,0	–	1,8	0,16
NIR <sub>0,05</sub> ; LSD <sub>0,05</sub>		4,0	4,5	5,0		3,8		5,7		1,8	
Ciężkie Heavy n = 8	0	82,9	92,6	175,5	–	39,1	–	32,2	–	11,3	–
	100	62,2	74,0	136,2	0,77	28,2	0,72	32,0	0,99	6,0	0,53
	250	59,8	62,2	122,0	0,70	20,9	0,53	26,3	0,81	4,1	0,36
	500	38,2	47,6	85,8	0,49	10,6	0,27	0,0	–	1,6	0,14
NIR <sub>0,05</sub> ; LSD <sub>0,05</sub>		6,1	6,0	6,0		2,8		2,6		1,2	

Na glebach ciężkich natomiast wzrastające dawki tego metalu nie miały istotnego wpływu na plonowanie roślin, a obliczony indeks tolerancji był bliski jedności.

Oprócz wpływu na plonowanie, dodany do podłoża cynk powodował wzrost zawartości tego pierwiastka w plonie głównym, w większym stopniu w słomie owsa niż w ziarnie. Podobnie w roślinach poplonowych zawartość cynku zależała od dawek tego składnika i rosła wraz z jego ilością podaną do podłoża. W każdym przypadku uwagę zwraca wyższa koncentracja cynku w roślinach w miarę zwiększania dawek badanego metalu na glebach lekkich niż na glebach ciężkich (tab. 3).

Tabela 3; Table 3

Zawartość cynku ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.) oraz indeks koncentracji ( $C_i$ ) w roślinach doświadczalnych  
 Zinc content ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM) and index concentration ( $C_i$ ) in experimental plants

Gleby Soils	Obiekty ( $\text{mg}\cdot\text{Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby) Doses of Zn ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ soil)	Owies Oats			Gryka Buckwheat		Gorczyca Mustard		Seradela Serradella	
		Zn		$C_i$	Zn	$C_i$	Zn	$C_i$	Zn	$C_i$
		ziarno grain	słoma straw							
Lekkie Light	0	43,2	105,2	–	242,0	–	225,0	–	194,0	–
	100	82,3	497,8	3,9	659,0	2,7	734,0	3,2	400,0	2,1
	250	89,9	1634,1	11,8	1862,0	7,7	1100,0	4,9	1050,0	5,4
	500	124,0	7596,6	51,5	7380,0	30,4	–	–	–	–
Średnie Medium	0	43,1	111,2	–	320,0	–	215,0	–	225,0	–
	100	73,3	358,2	2,7	882,5	2,7	630,0	2,9	668,0	3,0
	250	127,8	877,0	6,5	2675,0	8,9	950,0	4,4	1000,0	4,4
	500	174,9	5812,0	38,8	9135,0	28,5	–	–	1060,0	4,7
Ciężkie Heavy	0	48,8	158,6	–	377,5	–	243,0	–	160,0	–
	100	72,5	225,2	2,1	991,8	2,6	520,0	2,1	250,0	1,6
	250	100,0	605,0	3,4	3356,0	8,9	780,0	3,2	556,0	3,5
	500	168,0	2562,0	13,1	4487,0	11,9	–	–	985,0	6,1

Pobranie cynku przez owies zwiększało się sukcesywnie wraz ze wzrostem dawek tego składnika i było większe w przypadku słomy niż ziarna. W porównaniu z obiektami kontrolnymi pobranie cynku przez ziarno owsa, uprawianego na różnych glebach przy stosowaniu największej dawki tego pierwiastka, było 2–4 krotnie, a w słomie 2–8 krotnie większe. Pobranie cynku ogółem z wazonu wahało się w zależności od gleby od kilku do około 20 mg na obiektach kontrolnych, a przy najwyższej dawce od około 20 do 320 mg tego pierwiastka z wazonu. Zróżnicowane było również pobranie cynku przez rośliny poplonowe, zależne zarówno od gatunku gleby, jak i uprawianej rośliny (tab. 4).

Tak jak przy określaniu plonowania obliczono indeks tolerancji, zgodnie z propozycją niektórych autorów [BECKETT, DAVIS 1977], przedstawiono również indeks koncentracji ( $C_i$ ), będący wskaźnikiem bioakumulacji składników toksycznych w roślinie, a wyrażony jest on stosunkiem koncentracji Zn w roślinie skażonej do koncentracji tego pierwiastka w roślinie kontrolnej. Wzrastająca jego wartość świadczy o znacznej kumulacji w roślinie, stwarzającej istotne zagrożenia dla zwierząt i ludzi.

W badaniach własnych indeks koncentracji obliczony dla wszystkich roślin doświadczalnych był bardzo zróżnicowany i wahał się w szerokim zakresie (tab. 4).

Na podstawie uzyskanych danych w badaniach własnych, opierając się na zaleceniach BECKETTA i DAVIS [1977], wyznaczono górną granicę toksyczności cynku dla uprawianych roślin oraz dla poszczególnych gatunków badanych gleb.

W celu uzyskania prawidłowych wyników obliczono logarytm stężenia cynku w glebach i roślinach, wykorzystując w tym celu jedynie indeksy tolerancji dające toksyczne efekty  $T_i < 1$  i na tej podstawie wyznaczono proste regresji w strefach

fitotoksycznych. Dokładność prostych regresji badano poprzez obliczanie współczynników regresji przy pomocy testu Studenta, przy poziomie prawdopodobieństwa  $P = 0,05$  [ELANDT 1964; SNEDDECOR, COCHRAN 1965]. Granice toksyczności cynku wyznaczono jako punkt przecięcia między dwiema obliczonymi prostymi regresji i prostą wyznaczoną przez indeks tolerancji równy jedności ( $T_i = 1$ ). Wszystkie poziomy toksyczności wyznaczone zarówno dla gleb, jak i dla roślin przedstawiono w tabeli 5. Uzyskane dane wskazują na ścisłą zależność górnego poziomu toksyczności cynku dla roślin od rodzaju gleby, a także od gatunku uprawianych roślin.

Tabela 4; Table 4

Pobranie cynku przez rośliny doświadczalne (mg na wazon)  
Uptake of zinc by experimental plants (mg per pot)

Gleby Soils	Obiekty (mg Zn·kg <sup>-1</sup> gleby) Doses of Zn (mg·kg <sup>-1</sup> soil)	Owies Oats			Gryka Buckwheat	Gorczyca Mustard	Seradela Serradella
		ziarno grain	słoma straw	razem total			
Lekkie Light	0	2,6	20,5	23,1	9,6	6,8	1,2
	100	8,6	78,5	87,1	11,8	19,6	1,0
	250	5,0	101,6	106,6	17,1	12,4	0,2
	500	5,6	129,5	135,0	42,0	-	-
Średnie Medium	0	2,7	17,6	20,3	12,1	6,5	2,5
	100	13,2	45,6	58,8	21,6	17,0	3,7
	250	6,8	112,0	118,8	105,6	14,0	4,2
	500	4,2	103,0	107,2	97,7	-	1,9
Ciężkie Heavy	0	1,9	16,0	17,9	13,1	7,8	1,8
	100	2,9	23,6	26,5	27,9	16,6	1,5
	250	3,8	47,5	51,3	70,1	20,6	2,2
	500	5,6	82,4	88,0	47,5	-	1,5

Zanieczyszczenie gleb definiowane jest jako gromadzenie się w nich niepożądanych substancji, które mogą powodować utratę zdolności tych gleb do samodzielnych biologicznych i chemicznych procesów regeneracji oraz ujemnie wpływać na rozwój organizmów glebowych, wzrost roślin, a także wielkość i jakość plonów. Bardzo ważnym zagadnieniem w związku z tym jest ustalenie – kiedy obecność tych substancji uznać należy za wartości toksyczne dla roślin.

Wcześniejsze badania wielu autorów: HARRODA [1971], GOUGHIA i in. [1979] oraz SMITHA i BRADSHAWA [1979] sugerowały, że całkowita zawartość cynku w glebie może być wystarczającym kryterium oceny stopnia toksyczności. Nowsze badania autorów: BERRY i WALLACE [1989], GEMBARZEWSKIEGO i KORZENIOWSKIEJ [1990] oraz KIEKENSZA i CAMERLYNCKA [1992] wskazują natomiast, że kryteria toksyczności powinny opierać się na wzajemnych zależnościach między glebą i rośliną, na której obserwowany jest tzw. biologiczny i chemiczny efekt szkodliwości cynku. Mimo wielu opublikowanych na ten temat prac, w dalszym ciągu nie ma jednak jednoznacznych danych co do metody określania górnej krytycznej zawartości cynku w glebach i roślinach. Określa się jedynie, że rośliny tolerancyjne w stosunku do tego metalu to te, które mogą normalnie rozwijać się i reprodukować przy takim jego stężeniu, przy którym inne nie są do tego zdolne.

Tabela 5; Table 5

Toksyczna zawartość cynku w glebach i roślinach  
Toxic concentration of Zinc in soils and plants

Kat. agronom. Agron. category	Gleba (mg·kg <sup>-1</sup> ) Soil (mg·kg <sup>-1</sup> )				Roślina (mg·kg <sup>-1</sup> s.m.) Plant (mg·kg <sup>-1</sup> DM)			
	owies oats	gryka buckw.	gorczyca mustard	seradela serradella	owies oats	gryka buckw.	gorczyca mustard	seradela serradella
Lekka Light	150	118	120	101	285	198	211	198
Średnia Medium	263	240	210	139	643	600	300	450
Ciężka Heavy	500	420	300	250	2000	800	500	800

Zastosowana w badaniach własnych metoda określania poziomu toksyczności poprzez obliczanie indeksu tolerancji, pozwoliła oznaczyć toksyczną zawartość cynku dla każdej z 26 badanych gleb, która została przedstawiona w postaci wartości średnich dla poszczególnych gatunków badanych gleb.

Z danych przedstawionych w tabelach wynika, że indeks tolerancji uzależniony jest przede wszystkim od dawki cynku zastosowanego w doświadczeniach i od gatunku gleby. Wyznaczona następnie w oparciu o wartość indeksu granica toksyczności tego metalu dla roślin, oprócz tych dwóch czynników wskazuje jeszcze na gatunek rośliny. Podobne wyniki uzyskali BECKETT i DAVIS [1977], a także FOY i in. [1978], VERLOO i in. [1979] oraz BERRY i WALLACE [1989].

Bardzo ważnym czynnikiem przy podwyższonych koncentracjach tego metalu w glebie jest też efekt chemiczny, a więc nagromadzenie badanego składnika w tkankach uprawianych roślin. W badaniach własnych, podobnie jak w pracach innych autorów: HARROD [1971], DAVIS i BECKETT [1978], GOUGH i in. [1979] oraz BAKER [1987], koncentracja cynku w uprawianych roślinach korespondowała z zawartością jego form rozpuszczalnych w glebie. Pewne zróżnicowanie uzależnione było od gatunku roślin. Jednocześnie stwierdzono, że wzrostowi zawartości cynku towarzyszyła duża redukcja plonu.

Mimo, że wyznaczenie górnych, krytycznych zawartości cynku w glebach umożliwia szukanie ścisłych powiązań między wieloma właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleb a masą plonów roślin, koncentracją w nich cynku i wielkością pobrania, to wiele kontrowersji budzi określenie tym sposobem maksymalnego stężenia omawianego metalu w tkankach uprawianych roślin. Wynika to z faktu, iż przy obliczeniach zaleca się tu odrzucanie tych danych, które świadczą o zbyt wysokiej koncentracji cynku, powodującej obumieranie tkanek. Powoduje to, jak wynika z własnych obserwacji i danych innych autorów: KEISLINGA i in. [1977], BAKERA [1987] oraz KIEKENSZA i CAMERLYNCKA [1992], zbyt dużą różnicę między toksyczną zawartością omawianego składnika w tym samym gatunku roślin uprawianych na zróżnicowanych granulometrycznie glebach. Jakkolwiek różnice te są dopuszczalne i zrozumiałe z punktu widzenia kryterium biologicznego, metodą tą nie powinny być określane dopuszczalne zawartości metali ciężkich w roślinach z punktu widzenia ich wartości paszowych dla zwierząt i konsumpcyjnej dla człowieka. W tych przypadkach należałoby określić jedynie toksyczną zawartość cynku w glebie, na której uprawiane są rośliny.

## Wnioski

1. W glebach lekkich szkodliwa zawartość cynku, powodująca obniżkę plonów, wynosiła dla owsa  $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , dla gryki i gorczycy  $120 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a dla seradeli  $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . W glebach średnich odpowiednio dla owsa  $260 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , gryki  $240 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , gorczycy  $210 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  i seradeli  $140 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  gleby. W glebach ciężkich: dla owsa  $500 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$ , dla gryki  $420 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$ , gorczycy  $300 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$  i seradeli  $250 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$  gleby.
2. Całkowite zahamowanie wzrostu najwcześniej występowało na glebach lekkich przy koncentracji cynku w roślinach  $100\text{--}300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , na średnich gdy stężenie w tkankach tego metalu wynosiło  $300\text{--}650 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a na ciężkich, w przypadku owsa maksymalna zawartość wynosiła powyżej  $2000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .
3. Najwyższe plony roślin doświadczalnych uzyskano na glebach ciężkich, na których nie nastąpiło ich zmniejszenie w miarę wzrostu dawki cynku, o czym świadczy indeks tolerancji zbliżony do jedności. Najniższe plony natomiast i największe ich zmniejszenie pod wpływem stosowania cynku stwierdzono na glebach lekkich, gdzie obliczony indeks tolerancji przybierał wartości bardzo niskie.
4. Koncentracja cynku w tkankach roślinnych największa była na glebach lekkich i średnich, najmniejsza na glebach ciężkich, przy czym duże ilości tego pierwiastka stwierdzono w owsie i gryce, a znacznie mniejsze w gorczycy i seradeli.
5. Pobranie badanego pierwiastka wraz z plonami było ściśle uzależnione od dawki zastosowanego siarczanu cynku i od gatunku gleby, a także od gatunku uprawianej rośliny. Najwięcej cynku w ciągu okresu wegetacyjnego pobrał owies, następnie gryka, a znacznie mniej gorczyca i seradela. Wielkość pobrania z poszczególnych gleb układała się w kolejności: gleby lekkie > gleby średnie > gleby ciężkie.

## Literatura

- ALLAWAY W.H. 1968. *Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements*. Adv. Agron. 20: 235–274.
- BAKER A.J.M. 1987. *Metal tolerance*. New Phytol., 106 (Suppl.): 93–111.
- BECKETT P.H.T., DAVIS R.D. 1977. *Upper critical levels of toxic elements in plants*. New Phytol. 79: 95–106.
- BERRY W.L., WALLACE A. 1989. *Zinc phytotoxicity: Physiological responses and diagnostic criteria for tissue and solutions*. Soil Sci. 147: 390–397.
- DAVIS R.D., BECKETT P.H. 1978. *Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley*. Plant Soil 49: 395–408.
- ELANDT R. 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego*. PWN Warszawa: 595 ss.
- FOY C.P., CHANEY R.L., WHITE M.C. 1978. *The physiology of metal toxicity in plants*. Ann. Rev. Plant Physiol. 29: 511–566.



- GEMBARZEWSKI H., KORZENIOWSKA J. 1990. *Optymalna i dopuszczalna zawartość rozpuszczalnego cynku w glebie*. Roczn. Glebozn. 41(1-2): 145-151.
- GORLACH E., GAMBUS F. 1992. *A comparison of sensitivity to the toxic action of heavy metals in various plants species*. Pol. J. Soil Sci. 25(2): 207-213.
- GOUGH L.P., SHACKLETTE H.T., CASSE A.A. 1979. *Element concentration toxic to plants, animals and man*. Get. Surrey Bull. 1466: 1-60.
- HARROD M.F. 1971. *Metal toxicities in glasshouse crops*. Techn. Bull. 21: 176-193.
- KABATA-PENDIAS A., WIĄCEK K. 1985. *Excessive uptake of heavy metals by plants from contaminated soils*. Roczn. Gleb. XXXVI(4): 34-42.
- KEISLING T.C., LAUER D., WALKER M., HENNING R. 1977. *Wisual, tissue and soil factors associated with Zn toxicity of peanuts*. Agron. J. 69: 765-769.
- KIEKENS L., CAMERLYNCK R. 1992. *Determination of upper critical level heavy metals in plants*. Prot. VDLUFA Kongress, Munster: 255-261.
- KUDUK Cz. 1987. *Doświadczenia wazonowe z wpływem wysokich dawek cynku na rośliny*. Roczn. Gleb. XXXVIII(2): 151-160.
- ŁYSZCZ S., SELIGA H. 1991. *Nadmiar cynku w roślinach*. Mat. VI Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”. AR Wrocław, 9-10 IX 1987. 139-143.
- SMITH R.A., BRADSHAW A.D. 1979. *The use of metal tolerant plant population for the reclamation of metalliferous wastes*. J. Appl. Ecol. 16: 595-612.
- SNEDECOR G.W. COCHRAN W.G. 1965. *Statistical methods*. The Iowa State Univ. Press, USA: 326 ss.
- VERLOO M., KIEKENS L., COTTENIE A. 1979. *Distribution patterns of essential and non essential trace element in the soil - soil solution system*. Pedologie XXX(2): 163-175.

**Słowa kluczowe:** toksyczność, cynk, indeks tolerancji, indeks koncentracji, próg toksyczności, pobieranie cynku, gatunek rośliny

### Streszczenie

W doświadczeniach wazonowych na 26 glebach zróżnicowanych pod względem składu granulometrycznego badano wpływ wzrastających dawek cynku na plonowanie czterech gatunków roślin oraz koncentrację i pobranie tego metalu. Na podstawie uzyskanych danych określono zawartość cynku w glebie, toksyczną dla roślin. Cynk do gleby podawano w postaci siarczanu w ilościach 100, 250 i 500 mg Zn·kg<sup>-1</sup> gleby, a zbioru roślin dokonywano w fazie dojrzałości pełnej lub w okresie kwitnienia.

Badania wykazały, że tolerowane przez rośliny wysokie zawartości cynku zależały od rodzaju gleby i gatunku rośliny. Dla owsa na glebach lekkich było to 150 mg Zn·kg<sup>-1</sup> gleby, a na ciężkich aż 500 mg Zn·kg<sup>-1</sup> gleby. Dla gryki i gorczyicy w zależności od rodzaju gleby zawartości te wahały się od 120-400 mg Zn·kg<sup>-1</sup> gleby, a dla seradeli odpowiednio od 100-250 mg Zn·kg<sup>-1</sup> gleby.

Negatywny wpływ cynku na plonowanie owsa i roślin poplonowych widoczny był przy jego koncentracji w zakresie od 200-800 mg Zn·kg<sup>-1</sup> s.m. gryki, gorczyicy i seradeli oraz w granicach od 200-2000 mg Zn·kg<sup>-1</sup> s.m. owsa.

## ZINC CONTENT IN SOILS TOXIC TO DIFFERENT SPECIES OF CULTIVATED PLANTS

*Zofia Spiak, Magdalena Romanowska, Joanna Radoła*

Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University, Wrocław

**Key words:** toxicity, zinc, tolerance index, concentration index, upper critical level, zinc uptake, plant species

### Summary

The influence of increasing doses of zinc on yields of four plant species, its concentration in soil and zinc uptake by plants were studied in pot experiments conducted on 26 soils of different granulometric compositions. On the basis of obtained results the Zn level in soil toxic for plant was determined. Zinc was supplied to soil as a sulphate in doses of 100, 250 and 500 mg Zn·kg<sup>-1</sup> soil and plants were harvested in the stage of full maturity or at flowering.

The experiment showed that high contents of zinc in soil tolerated by plants depended on soil type and plant species. For the oats on light soils it was 150 mg Zn·kg<sup>-1</sup> soil whereas on heavy soils – up to 500 mg Zn·kg<sup>-1</sup> soil. For buckwheat and mustard, depending on type of soils, the toxic level ranged within 120–400 mg Zn·kg<sup>-1</sup> soil and for serradella it was 100–250 mg Zn·kg<sup>-1</sup> soil, respectively.

The negative effect of zinc on yield of oats and stubble crops was stated on the object, where zinc concentration ranged from 200 to 800 mg Zn·kg<sup>-1</sup> DM for buckwheat, mustard and for serradella, while for oats between 200 and 2000 mg Zn·kg<sup>-1</sup> DM.

Prof. dr hab. **Zofia Spiak**  
Katedra Chemii Rolnej  
Akademia Rolnicza  
ul. Grunwaldzka 53  
50–357 WROCŁAW