

## ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W PSZENZYCIE UPRAWIANYM NA GLEBIE LEKKIEJ NAWOŻONEJ RÓŻNYMI DAWKAMI KOMPOSTOWANYCH ODPADÓW MIEJSKICH

*Anna Karczewska, Jerzy Weber, Elżbieta Jamroz, Jerzy Drozd*

Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego,  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

### Wstęp

Komposty, w tym także komposty produkowane z odpadów miejskich, mogą być bardzo dobrymi nawozami służącymi do użyźniania gleb lekkich [LEKAN, KACPEREK 1990; SIUTA 1996; JAMROZ 1999]. Jednak często komposty takie zawierają znaczne ilości metali ciężkich, tak że ich stosowanie w dużych dawkach może prowadzić do wzrostu zawartości metali w glebach [KABATA-PENDIAS, PIOTROWSKA 1987; CHWASTOWSKA i in. 1993]. W przypadku gleb lekkich problem ten nabiera szczególnego znaczenia, gdyż w takich glebach, o ubogim kompleksie sorpcyjnym, metale charakteryzują się dużą rozpuszczalnością i przyswajalnością dla roślin [KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1999; ROSS 1994]. Z drugiej strony, wprowadzenie do gleby wraz z kompostem dodatkowej ilości substancji organicznej wzbogaca kompleks sorpcyjny i, mimo wzrostu całkowitej zawartości metali w glebie, może przyczyniać się do obniżenia ich pobrania przez rośliny.

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu dwóch rodzajów kompostów wyprodukowanych z odpadów miejskich o wysokiej i niskiej zawartości metali ciężkich, na pobranie metali przez pszenżyto z gleby lekkiej, w rok po zastosowaniu kompostów. Oznaczano 5 metali: Pb, Zn, Cu, Cd i Cr.

### Materiał i metody

Pszenżyto jare odmiany Gabo uprawiano w doświadczeniu poletkowym na glebie lekkiej, wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego o odczynie lekko kwaśnym (pH 6,1–6,6) i o zawartości węgla organicznego 0,70%. Przed założeniem doświadczenia gleba zawierała metale ciężkie w niewielkich ilościach (tab. 1), odpowiadających 0 (Pb i Cd) oraz I (Zn, Cd i Cu) stopniowi zanieczyszczenia wg wytycznych Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) [KABATA-PENDIAS i in. 1993]. Do gleby tej wprowadzono 2 rodzaje kompostów wyprodukowanych z odpadów miejskich:

- 1) kompost z Katowic, produkowany w systemie DANO z dodatkowym dojrzewaniem na pryzmach przez około 6 miesięcy, zawierający znaczne ilości metali ciężkich,

- 2) kompost z Żywca, produkowany według systemu Herhoff, z dalszym dojrzewaniem w pryzmach, o niewielkiej zawartości metali ciężkich (tab. 1).

Zastosowane dawki kompostów wynosiły 30, 60 i 120 t·ha<sup>-1</sup> i były znacznie wyższe od normalnie stosowanych, co miało przybliżać efekty odpowiadające kilkukrotnemu stosowaniu tych kompostów. Gleba nawożona kompostem katowickim zawierała metale ciężkie w ilościach wzrastających wraz ze zwiększaniem dawki kompostu, jednak nieprzekraczających I (a tylko dla Cd – II) stopnia zanieczyszczenia [WEBER i in. 2000]. W przypadku kompostu żywieckiego istotnych różnic w zawartościach metali w glebie przy różnych dawkach kompostu nie było. Jako próby kontrolne przyjęto poletka nienawożone oraz nawożone mineralnymi formami NPK. Doświadczenie prowadzono w 5 powtórzeniach.

Poletka uprawiane były z zastosowaniem normalnej agrotechniki. Pszenżyto wysiano w ilości 230 kg·ha<sup>-1</sup> (odpowiadającej 550 ziarnom na 1 m<sup>2</sup>), w rozstawie rzędów 10,8 cm. Po zbiorze roślin pobrano reprezentatywne próbki materiału roślinnego i oznaczono zawartości metali ciężkich w ziarnie oraz w słomie. Z powodów technicznych słoma z pięciu powtórzeń została zmieszana, a zawartości metali oznaczono jedynie w próbce uśrednionej. Próbki roślin mineralizowano na sucho w temperaturze 450°C, a popiół roztwarzano w kwasie azotowym oraz solnym. Do oznaczenia zawartości metali ciężkich w uzyskanych roztworach wykorzystywano technikę płomieniową absorpcyjnej spektrofotometrii atomowej (ASA.) Interpretacja wyników obejmowała analizę zależności zawartości metali ciężkich w materiale roślinnym od zastosowanej dawki kompostu oraz od zawartości metali w glebie.

Tabela 1; Table 1

Zawartość metali w glebie i suchej masie kompostów stosowanych w doświadczeniu  
Concentration of metals in soil and in dry matter of composts used in the experiment

Wyszczególnienie Specification		Zawartości metali (mg·kg <sup>-1</sup> ) Concentrations of metals (mg·kg <sup>-1</sup> )				
		Pb	Zn	Cd	Cu	Cr
Gleba przed doświadczeniem Soil before experiment	średnio mean	20,9	29,6	1,0	6,7	9,0
Zakres zawartości w glebie po pierwszym roku doświadczenia; Range of contents in soil after first year of experiment	min.	18,9	25,0	0,7	6,0	7,1
	maks.; max.	37,0	62,5	1,5	14,0	13,8
Kompost z Katowic; Compost from Katowice		972	1825	11,7	366	99,9
Kompost z Żywca; Compost from Żywiec		65	228	3,3	34,3	33,6

## Wyniki i dyskusja

Wielkość pobrania metali ciężkich z gleby przez rośliny należy interpretować nie tylko w zestawieniu z zawartością i formami metali w glebie, ale także z innymi czynnikami, warunkującymi wzrost i rozwój roślin. Z obserwacji polowych wynikało, że zwiększone dawki obu kompostów spowodowały kilkudniowe opóźnienie wschodów, a także krzewienia roślin w stosunku do prób kontrolnych bez

nawożenia i z nawożeniem mineralnym. Nie stwierdzono jednak istotnego wpływu rodzaju i dawki zastosowanych nawozów na obsadę pszenżyta. Wzrost i rozwój roślin był najniższy na poletkach kontrolnych bez nawożenia, a najbujniejszy – na poletkach nawożonych mineralnymi formami NPK. Rośliny o najniższym wzroście (bez nawożenia) wchodziły w fazę kwitnienia i dojrzewania najszybciej, a te o wzroście najbujniejszym (NPK) – najpóźniej. Obserwowano także opóźnienie w osiąganiu pełni rozwoju wraz ze zwiększaniem dawki kompostów. Zróżnicowanie to znalazło odzwierciedlenie w wielkości plonu, który był najniższy na poletkach nienawożonych (słomy 2,56 t·ha<sup>-1</sup> i ziarna 1,36 t·ha<sup>-1</sup>), a najwyższy – w przypadku nawożenia NPK (odpowiednio 4,30 i 3,11 t·ha<sup>-1</sup>). Zwiększanie dawki kompostów wpływało dodatnio na wzrost plonu, przy czym znacznie wyższe efekty dał kompost żywiecki (przy najwyższej dawce 120 t·ha<sup>-1</sup> uzyskano plon 4,76 i 2,89 t·ha<sup>-1</sup>) niż kompost katowicki (2,99 i 2,09 t·ha<sup>-1</sup>).

Tabela 2; Table 2

Zawartość metali ciężkich w słomie pszenżyta (wartości średnie) oraz w ziarnie (średnie i odchylenia standardowe – ŚD) z wariantów doświadczenia

Concentration of heavy metals in straw (mean values) and grain (mean values and standard deviations – SD) of Triticale on various plots of experiment

Metal	Wyszczególnienie Specification	Wariant doświadczenia; Experimental plot							
		0	NPK	kompost z Katowice compost from Katowice w dawce; rate (t·ha <sup>-1</sup> )			kompost z Żywca compost from Żywiec w dawce; rate (t·ha <sup>-1</sup> )		
				30	60	120	30	60	120
zawartość metali (mg·kg <sup>-1</sup> s.m.) concentration of metals (mg·kg <sup>-1</sup> DM)									
Pb	słoma; straw	1,62	1,71	1,64	1,80	1,23	1,59	1,89	1,44
	ziarno; grain – średnia arytmetyczna arithmetic average	1,54	0,80	0,86	1,10	0,54	0,42	0,66	0,54
	– SD	0,21	0,07	0,09	0,12	0,17	0,08	0,21	0,17
Cd	słoma; straw	0,17	0,20	0,18	0,19	0,16	0,15	0,20	0,20
	ziarno; grain – średnia arytmetyczna arithmetic average	0,11	0,09	0,10	0,12	0,11	0,07	0,07	0,11
	– SD	0,04	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
Zn	słoma; straw	39,1	18,1	29,3	32,4	29,8	21,8	23	23,1
	ziarno; grain – średnia arytmetyczna arithmetic average	51,0	55,2	54,2	53,9	53,2	50,9	51,6	61,2
	– SD	8,4	7,4	7,2	6,0	7,5	6,2	9,1	9,0
Cu	słoma; straw	4,05	3,25	1,75	1,45	1,7	1,6	2,1	1,9
	ziarno; grain – średnia arytmetyczna arithmetic average	6,7	6,7	6,8	6,4	6,7	6,6	6,7	7,1
	– SD	0,6	1,0	1,1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Cr	słoma; straw	1,95	1,48	1,90	1,81	1,70	1,88	1,89	1,90
	ziarno; grain – średnia arytmetyczna arithmetic average	0,39	0,20	0,21	0,28	0,51	0,52	0,44	0,58
	– SD	0,13	0,06	0,07	0,17	0,07	0,14	0,22	0,19

W tabeli 2 przedstawiono zawartości metali ciężkich w analizowanym materiale roślinnym. Zawartości Pb, Cd i Cr w słomie były wyższe niż w ziarnie, podczas gdy dla Cu oraz Zn stwierdzono tendencję odwrotną: wyższe zawartości tych pierwiastków występowały w ziarnie. Średnie zawartości metali w słomie wynosiły: 26,8 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 2,8 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 3,3 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 0,31 mg Cd·kg<sup>-1</sup> i 0,95 mg Cr·kg<sup>-1</sup>, a średnie zawartości tych metali w ziarnie – 53,9 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 0,79 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 6,7 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 0,10 mg Cd·kg<sup>-1</sup> i 0,45 mg Cr·kg<sup>-1</sup> (wszystkie wyniki w odniesieniu do suchej masy).

Analiza słomy wykazała, że przy stosowaniu kompostów nastąpiło częściowe ograniczenie pobrania Cu przez rośliny. Średnia całkowita zawartość Cu w słomie pszenżyta z obiektów nienawożonych wynosiła 4,05 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., w słomie z obiektów nawożonych mineralnymi formami NPK – 3,2 mg·kg<sup>-1</sup>, podczas gdy w słomie z obiektów, na których zastosowano komposty: 1,45–1,75 oraz 1,60–2,10 mg·kg<sup>-1</sup> odpowiednio dla kompostów: katowickiego i żywieckiego. Nie stwierdzono tendencji zmian zawartości Cu w słomie wraz ze wzrostem dawki kompostów. Zróżnicowanie zawartości Cu w słomie nie znalazło odzwierciedlenia w różnych zawartościach tego pierwiastka w ziarnie pszenżyta, gdzie wyniki analiz materiału z poszczególnych obiektów badawczych wykazywały niewielkie zróżnicowanie i nieznacznie tylko odbiegały od średniej wynoszącej 6,7 mg·kg<sup>-1</sup> (rys. 1). Jest to potwierdzeniem funkcjonowania mechanizmów regulujących pobieranie mikroelementów i ich przemieszczanie wewnątrz roślin, a zwłaszcza transport do części generatywnych [ROSS 1994; KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1999].

Podobne zależności jak dla miedzi stwierdzono również w przypadku cynku. W słomie pszenżyta uprawianego na poletkach z dodatkiem kompostów zawartość cynku była niższa niż na obiektach nienawożonych i wynosiła: 21,8–23,1 mg·kg<sup>-1</sup> przy zastosowaniu kompostu z Żywca, 29,3–32,4 mg·kg<sup>-1</sup> w przypadku kompostu z Katowic, a średnio 39,1 mg·kg<sup>-1</sup> na obiektach nienawożonych. Nie wystąpiła wyraźna tendencja zmian zawartości Zn w słomie zależnie od dawki kompostu. Najniższe zawartości Zn w słomie pszenżyta stwierdzono dla poletek nawożonych NPK, gdzie wzrost roślin był najbujniejszy, co wskazuje na wyraźną odwrotną zależność zawartości Zn w słomie od wielkości plonu. Zawartości Zn, podobnie jak i Cu, w ziarnie pszenżyta z poszczególnych obiektów nie wykazywały istotnego zróżnicowania i nie zależały ani od rodzaju nawożenia, ani od dawki zastosowanego kompostu. Ziarno z poletek nawożonych najwyższą dawką kompostu żywieckiego zawierało najwyższą średnią ilość Zn, nie była ona jednak statystycznie różna od występujących w pozostałych wariantach doświadczenia.

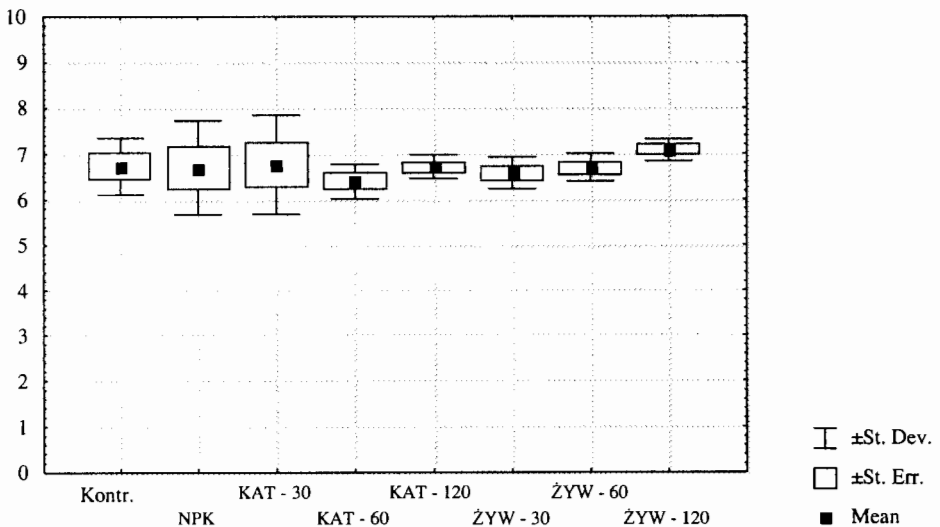
Zawartości ołowiu w słomie pszenżyta z obiektów nawożonych kompostami nie wykazywały zróżnicowania, natomiast w ziarnie stwierdzono ogólnie niewielkie zawartości Pb, o znacznym rozrzucie wartości. Najwyższe zawartości Pb w ziarnie (1,54 mg·kg<sup>-1</sup>) wystąpiły na poletkach kontrolnych bez nawożenia, podczas gdy w pozostałych wariantach – były niższe (średnio 0,68 mg·kg<sup>-1</sup>) i niezróżnicowane statystycznie.

Dla pozostałych pierwiastków (Cd i Cr) nie obserwowano zróżnicowania ich zawartości w słomie pszenżyta uprawianego na obiektach kontrolnych i nawożonych kompostami, choć zaznaczyła się pewna tendencja „rozcieńczenia” stężeń Cr w słomie na poletkach nawożonych NPK, podobnie jak w przypadku Cu i Zn. Nie stwierdzono natomiast statystycznie istotnych zależności zawartości Cd i Cr w ziarnie od zastosowanej dawki kompostu i od całkowitej zawartości tych metali w glebie. Należy nadmienić, że bardzo niskie (poniżej 1 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) zawartości Cd

i Cr, a także Pb w ziarnie pszenżyta leżały w zakresie dolnej granicy oznaczalności ASA, co stanowiło dodatkowy czynnik możliwego błędu analizy, utrudniający interpretację wyników.

Stwierdzone zawartości wszystkich metali w plonie pszenżyta z poletek nawożonych kompostami pozwalają, zgodnie z wytycznymi IUNG [KABATA-PENDIAS i in. 1993], zakwalifikować zarówno ziarno, jak i słomę jako przydatne dla celów paszowych, dla których graniczne zawartości Pb, Zn, Cd i Cu wynoszą odpowiednio: 10, 100, 0,5 i 25 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. Zawartości metali ciężkich w ziarnie zasadniczo spełniają również kryteria dla celów konsumpcyjnych (o wartościach granicznych: 1, 50, 0,15 i 20 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.), choć zawartość cynku nieznacznie przekracza wartość 50 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.

Cu w s.m. gleby; Cu in DM soil (mg·kg<sup>-1</sup>)



- Kontr. – bez nawożenia; without fertilization  
 NPK – nawożenie mineralne; mineral fertilization  
 KAT – 30, 60, 120 – kompost katowicki, dawka t·ha<sup>-1</sup>; compost from Katowice, rate (t·ha<sup>-1</sup>)  
 ŻYW – 30, 60, 120 – kompost żywiecki, dawka t·ha<sup>-1</sup>; compost from Żywiec, rate (t·ha<sup>-1</sup>)  
 St. Dev. – odchylenie standardowe; standard deviation  
 St. Err. – średni błąd standardowy; standard error  
 Mean – średnia arytmetyczna; arithmetic mean

Rys. 1. Statystyczna interpretacja zawartości całkowitej miedzi w ziarnie pszenżyta (w suchej masie) w zależności od nawożenia i dawki kompostu

Fig. 1. Statistical interpretation of copper concentrations in triticale grain (dry matter), as related to fertilization and composting rate

## Wnioski

1. Wprowadzenie do gleby lekkiej kompostów wyprodukowanych z odpadów miejskich, w dawkach do 120 t·ha<sup>-1</sup>, nawet w przypadku gdy komposty te

- zawierają znaczne ilości metali ciężkich, nie powoduje wzrostu zawartości metali w słomie ani w ziarnie pszenżyta.
2. W warunkach przeprowadzonego doświadczenia cynk i miedź są metalami, których zawartości w słomie wykazują największą zmienność zależnie od warunków nawożenia, i są najwyższe przy najniższym plonie roślin, tj. bez stosowania nawożenia. Zawartości tych pierwiastków w ziarnie są wyższe niż w słomie i pozostają względnie stałe, nie wykazując zależności od nawożenia, wielkości plonu oraz zawartości tych metali w glebie.
  3. Pozostałe pierwiastki: ołów, chrom i kadm występują w ziarnie pszenżyta w ilościach niższych niż w słomie (odpowiadających dolnej strefie zakresu analitycznego metody płomieniowej ASA), a zawartości tych metali zarówno w ziarnie, jak i słomie nie wykazują związku z zastosowanym nawożeniem i dawkami kompostów.
  4. Badane komposty mogą być stosowane do poprawy właściwości gleb lekkich, bez obawy o zanieczyszczenie metalami ciężkimi uprawianych na tych glebach roślin zbożowych, zwłaszcza jeśli plody przeznaczone są na cele paszowe.

### Literatura

- CHWASTOWSKA J., SKALMOWSKI K., WOLSKA K., SKWARA W. 1993. *Metale ciężkie i formy ich występowania w kompostach z odpadów miejskich uzyskiwanych według technologii DANO w Warszawie*. Arch. Ochr. Środ. 3-4: 251-259.
- JAMROZ E. 1999. *Zmiany elementów żyzności gleb w warunkach stosowania kompostów produkowanych z odpadów miejskich*. Akademia Rolnicza we Wrocławiu. Praca doktorska (maszynopis).
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M. 1987. *Pierwiastki śladowe jako kryterium rolniczej przydatności odpadów*. IUNG Puławy.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Warszawa: 398 ss.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., WITEK T. 1993. *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką*. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy: 20 ss.
- LEKAN S., KACPEREK A. 1990. *Ocena wartości nawozowej kompostu produkowanego z odpadów miejskich metodą DANO w doświadczeniu wazonowym*. Pam. Puł. 97: 187-200.
- ROSS S.M. 1994. *Toxic metals in soil-plant system*. John Wiley and Sons Ltd., London: 88 ss.
- SIUTA J. 1996. *Zasoby i przyrodnicze użytkowanie odpadów organicznych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 437: 23-30.
- WEBER J., KARCZEWSKA A., DROZD J., LICZNAR M. 2000. *Wpływ kompostowanych odpadów miejskich na zawartość metali ciężkich w glebie lekkiej w pierwszym roku po zastosowaniu kompostu*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 471: 1181-1187.

**Słowa kluczowe:** kompost, odpady miejskie, pszenżyto, metale ciężkie

### Streszczenie

Przedmiotem pracy jest ocena wpływu kompostowanych odpadów miejskich zastosowanych do nawożenia gleby lekkiej na zawartość metali ciężkich w uprawianym pszenżycie. Kompostowane odpady pochodziły z kompostowni w Katowicach i Żywcu i stosowane były w dawkach 30, 60 i 120 t·ha<sup>-1</sup>. Gleba nienawożona zawierała 30,5 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 21,4 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 7,0 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 1,0 mg Cd·kg<sup>-1</sup> i 8,5 mg Cr·kg<sup>-1</sup>. Kompost katowicki zawierał znaczne ilości metali ciężkich, a wraz ze wzrostem jego dawki istotnie wzrastała zawartość metali w glebie. Plon roślin zależał od nawożenia i był najwyższy w przypadku nawożenia mineralnego oraz stosowania kompostu żywieckiego, zwłaszcza w dużych dawkach.

Oznaczano zawartość metali ciężkich w suchej masie słomy oraz ziarnie pszenżyta. Średnie zawartości metali w słomie wynosiły: 26,8 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 2,8 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 3,3 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 0,31 mg Cd·kg<sup>-1</sup> i 0,95 mg Cr·kg<sup>-1</sup>, a średnie zawartości tych metali w ziarnie – 53,9 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 0,79 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 6,7 mg Cu·kg<sup>-1</sup> Cu, 0,10 mg Cd·kg<sup>-1</sup> i 0,45 mg Cr·kg<sup>-1</sup>. Nie stwierdzono statystycznie istotnych zależności zawartości metali ciężkich od dawki kompostu i od całkowitej zawartości metali w glebie. Szczególnie w ziarnie zawartości badanych metali pozostawały na stałym poziomie, niezależnie od wariantu doświadczenia. Badane komposty mogą być stosowane do poprawy właściwości gleb lekkich, bez obawy o zanieczyszczenie metalami ciężkimi uprawianych na tych glebach roślin zbożowych.

### CONCENTRATIONS OF HEAVY METALS IN *Triticale* GROWN ON SANDY SOIL FERTILIZED WITH DIFFERENT DOSES OF COMPOSTED MUNICIPAL WASTES

*Anna Karczewska, Jerzy Weber, Elżbieta Jamroz, Jerzy Drozd*  
Institute of Soil Science and Agricultural Environment Protection,  
Agricultural University, Wrocław

**Key words:** compost, municipal wastes, triticale, heavy metals

### Summary

The main purpose of this study was to estimate the effects of composted municipal wastes applied to sandy soil on the contents of heavy metals in triticale grown on this soil. Composted wastes originated from municipal composting plants in Katowice and Żywiec and were applied at the rates of 30, 60 and 120 tonnes per ha. Not fertilized soil contained originally 30.5 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 21.4 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 7.0 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 1.0 mg Cd·kg<sup>-1</sup> and 8.5 mg Cr·kg<sup>-1</sup>. Compost from Katowice was rich in heavy metals and their concentrations in soil increased with increasing fertilization rates. Crop yield depended on soil fertilization. The highest yield was obtained on the fields fertilized with mineral NPK and with compost from Żywiec, in particular when applied at the highest rates.

The heavy metal concentrations were examined in straw dry matter and grain of triticale. The mean contents were: in straw 26.8 mg Zn·kg<sup>-1</sup>, 2.8 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 3.3 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 0.31 mg Cd·kg<sup>-1</sup>, 0.95 mg Cr·kg<sup>-1</sup>, and in grain – 53.9 mg

Zn·kg<sup>-1</sup>, 0.79 mg Pb·kg<sup>-1</sup>, 6.7 mg Cu·kg<sup>-1</sup>, 0.10 mg Cd·kg<sup>-1</sup>, 0.45 mg Cr·kg<sup>-1</sup>. No statistically significant relationships were found between concentrations of metals in plant material and composting rates or metal concentration in the soil. In particular, the concentrations of metals in grain remained constant and did not depend on experimental plot. Both composts may be applied to sandy soil with the purpose of improving its properties without any risk of crop pollution with heavy metals.

**Dr Anna Karczewska**

Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego

Akademia Rolnicza

ul. Grunwaldzka 53

50-357 WROCLAW

e-mail: karcz@ozi.ar.wroc.pl