

WPŁYW NAWOŻENIA MATERIAŁAMI ORGANICZNYMI POCHODZENIA ODPADOWEGO NA ZAWARTOŚĆ CYNKU W KUKURYDZY I GLEBIE

Barbara Filipek-Mazur[✉], Monika Tabak
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu nawożenia odpadowymi materiałami organicznymi na zawartość cynku w kukurydzy i glebie (oznaczono zawartość całkowitą tego pierwiastka i zawartość form ekstrahowanych 0,11 mol·dm⁻³ kwasem octowym). Trzyletnie doświadczenie połowe obejmowało 7 obiektów: glebę nienawożoną (obiekt zerowy) oraz glebę nawożoną nawozami mineralnymi, obornikiem, kompostem z odpadów zielonych, osadem ściekowym, kompostem z osadu i słomy oraz mieszaniną osadu i popiołu. Rośliną testową była kukurydza uprawiana na kiszonce. Zawartość Zn oznaczono metodą ICP-AES. Nie stwierdzono zanieczyszczenia gleby cynkiem, a zawartość pierwiastka w kukurydzy nie przekraczała dopuszczalnej zawartości określonej dla roślin wykorzystywanych paszowo. Najwięcej cynku zawierała kukurydza nawożona nawozami mineralnymi. Rośliny nawożone odpadowymi materiałami organicznymi zawierały istotnie mniej cynku niż uprawiane na glebie nienawożonej lub zawartości te były zbliżone. Nie wykazano istotnego statystycznie wpływu nawożenia na całkowitą zawartość cynku w glebie. Największą zawartością form wymiennych oraz rozpuszczalnych w wodzie i kwasach cechowała się gleba nawożona osadem ściekowym.

Słowa kluczowe: osad ściekowy, kompost, cynk, kukurydza, gleba

WSTĘP

Kukurydza jest rośliną uprawianą w Polsce od ponad 100 lat, a powierzchnia jej zasiewów systematycznie wzrasta. W 2014 r. w uprawie na ziarno wynosiła 678 tys. ha, a na kiszonce, która jest jedną z podstawowych pasz w żywieniu przeżuwaczy, 541 tys. ha gruntów ornych [Anonim 2015a]. Kukurydza jest rośliną o dużych wymaganiach pokarmowych, dobrze plonującą w uprawie na oborniku lub nawozach organicznych

[✉]rfilipe@cyf-kr.edu.pl

i organicznych materiałach odpadowych. Stosowanie tych substancji może powodować wprowadzenie do gleby nadmiernych ilości metali ciężkich, zarówno tych, które są mikroskładnikami pokarmowymi (Cu, Zn), jak i tych, które nawet w niewielkich ilościach są toksyczne dla roślin (Cd, Pb, Hg). Stosowanie osadów ściekowych może zwiększać zawartość cynku, zwłaszcza jego form przyswajalnych w glebie [Vulkan i in. 2002, Rigueiro-Rodriguez i in. 2012]. Nadmierna zawartość cynku wpływa niekorzystnie m.in. na liczebność i różnorodność mikroorganizmów glebowych [Kucharski i in. 2011], ale jest także niebezpieczna dla roślin, ponieważ pobierają one cynk proporcjonalnie do jego zawartości w roztworze glebowym, wykazując symptomy toksyczności dopiero przy dużych zawartościach pierwiastka w podłożu [Baran 2011]. Cynk obecny w glebie może łatwo przemieszczać się do dalszych ogniw łańcucha pokarmowego [Brekken i Steinnes 2004].

Celem badań było określenie wpływu nawożenia materiałami organicznymi pochodzenia odpadowego na zawartość i pobranie cynku przez kukurydzę oraz na całkowitą zawartość tego pierwiastka w glebie i zawartość form ekstrahowanych kwasem octowym o stężeniu $0,11 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.

MATERIAŁ I METODY

Trzyletnie doświadczenie polowe założono w 2008 r. w położonej w Krakowie-Mydlnikach stacji doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego. Doświadczenie prowadzono na glebie brunatnej właściwej typowej, o uziarnieniu gliny lekkiej. Dokładną charakterystykę gleby wyjściowej podano w pracy Tabak i Filipek-Mazur [2012]. Zawartość pierwiastków śladowych (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr) w glebie nie przekraczała wartości granicznych ustalonych dla rolniczego wykorzystania osadów ściekowych, również wartość $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ gleby nie uniemożliwiała nawożenia osadem ściekowym – dotyczy to zarówno wytycznych obowiązujących w trakcie trwania badań [Anonim 2002, Anonim 2010], jak i obowiązujących obecnie [Anonim 2015b].

Doświadczenie obejmowało 7 obiektów: glebę nienawożoną (kontrola, obiekt zero-wy) oraz glebę nawożoną nawozami mineralnymi, obornikiem bydlęcym, kompostem z odpadów zielonych (pochodzących głównie z pielęgnacji miejskich terenów zielonych), komunalnym osadem ściekowym, kompostem z osadu ściekowego i słomy pszennej oraz mieszaniną osadu ściekowego i popiołu z węgla kamiennego. Każdy obiekt prowadzono w 4 powtórzeniach. Rośliną testową była kukurydza odmiany PR 39F58 firmy Pioneer uprawiana na kiszonce (zbierana w fazie woskowej dojrzałości ziarna).

Przez cały okres doświadczenia rośliny uprawiano na tych samych poletkach doświadczalnych (powierzchnia jednego poletka wynosiła 35 m^2), prowadząc uprawę w systemie tradycyjnym. W pierwszym roku do gleby obiektów nawożonych (poza kontrolą) wprowadzono: 160 kg N , $168 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ (73 kg P) i $140 \text{ kg K}_2\text{O}$ (116 kg K) $\cdot \text{ha}^{-1}$. Do gleby nawożonej materiałami organicznymi (obornikiem i materiałami odpadowymi) całą dawkę azotu wprowadzono w tych materiałach; dawki materiałów wynosiły: $5,6 \text{ Mg}$ obornika, $11,1 \text{ Mg}$ kompostu z odpadów zielonych, $7,9 \text{ Mg}$ osadu ściekowego, $6,5 \text{ Mg}$ kompostu z osadu i słomy oraz $11,0 \text{ Mg}$ mieszaniny osadu i popiołu $\cdot \text{ha}^{-1}$, w przeliczeniu na suchą masę. W celu wprowadzenia składników pokarmowych do gleby nawożonej nawozami mineralnymi oraz wyrównania dawek fosforu i potasu w glebie pozostałych nawożonych

obiektów zastosowano nawozy mineralne: saetrę amonową (34% N), superfosfat wzbogacony (40% P_2O_5) i sól potasową (60% K_2O). Nawozów tych użyto również do przeprowadzenia nawożenia w drugim i trzecim roku doświadczenia (w celu oceny następczego działania materiałów organicznych zastosowanych w pierwszym roku doświadczenia), w każdym roku wprowadzając do gleby 100 kg N, 30 kg P_2O_5 (13 kg P) i 110 kg K_2O (91 kg K) \cdot ha⁻¹. Dokładne dane dotyczące warunków prowadzenia doświadczenia, w tym skład chemiczny zastosowanych materiałów organicznych, zawarto w pracach Tabak i Filipek-Mazur [2011 i 2012].

Zawartość pierwiastków śladowych w materiałach organicznych użytych do nawożenia nie przekraczała dopuszczalnych wartości ustalonych dla rolniczego wykorzystania osadów ściekowych [Anonim 2002, Anonim 2010, Anonim 2015b]. Wykorzystany do nawożenia obornik zawierał 223 mg Zn \cdot kg⁻¹ s.m. (z nawozem wprowadzono 1,25 kg Zn \cdot ha⁻¹), natomiast odpadowe materiały organiczne zawierały od 285 do 855 mg Zn \cdot kg⁻¹ s.m. (dawka od 3,16 do 6,78 kg \cdot ha⁻¹). Wielkość dawek cynku wprowadzonego do gleby poszczególnych obiektów wynikała z dawek zastosowanych materiałów organicznych (ustalonych na podstawie wymogów prawnych). Zawartość cynku w materiałach organicznych oraz dawki cynku wprowadzonego z tymi substancjami do gleby przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość cynku w materiałach organicznych oraz dawki cynku wprowadzonego do gleby
Table 1. Zinc content in organic materials and doses of zinc introduced to soil

Material – Material	Zawartość – Content [mg Zn \cdot kg ⁻¹ s.m.]; [mg Zn \cdot kg ⁻¹ d.m.]	Dawka – Dose [kg Zn \cdot ha ⁻¹]
Obornik – Manure	223	1,25
Kompost z odpadów zielonych Compost from green waste	285	3,16
Osad ściekowy – Sewage sludge	855	6,78
Kompost z osadu ściekowego i słomy Compost from sewage sludge and straw	716	4,68
Mieszanka osadu ściekowego i popiołu Mixture of sewage sludge and ash	520	5,75

Zawartość cynku w częściach nadziemnych kukurydzy i w glebie oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą (ICP-AES) przy użyciu aparatu JY 238 Ultrace firmy Jobin Yvon. Materiał roślinny po zbiorze wysuszono w temperaturze 70°C w suszarce z przepływem gorącego powietrza, zmielono i zmineralizowano w piecu muflowym (8 godz., 450°C). Pozostałość odparowano z roztworem kwasu solnego, a następnie roztworzono w roztworze kwasu azotowego(V) [Ostrowska i in. 1991]. Materiał glebowy pobierano każdorazowo po zbiorze roślin, z warstwy 0–20 cm. Ogólną zawartość cynku w powietrznie suchej glebie przesianej przez sito

o średnicy oczek 1 mm oznaczono po spaleniu materiału w piecu muflowym (8 godz., 450°C), odparowaniu z mieszaniną stężonych kwasów azotowego(V) i chlorowego(VII) i roztworzeniu pozostałości w roztworze kwasu solnego [Ostrowska i in. 1991]. Ponadto oznaczono zawartość cynku w formach wymiennych, rozpuszczalnych w wodzie i kwasach, zgodnie z metodą ekstrakcji sekwencyjnej BCR [Mossop i Davidson 2003]. Glebę poddano ekstrakcji kwasem octowym o stężeniu 0,11 mol·dm⁻³ (16 godz. w temperaturze pokojowej).

Wyniki oznaczeń zawartości cynku w roślinie i glebie poddano analizie statystycznej, przeprowadzając jednoczynnikową analizę wariancji. Istotność zróżnicowania wartości średnich dla poszczególnych obiektów nawozowych (w ramach danego roku prowadzenia doświadczenia polowego) określono przy użyciu testu Duncana, przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Do statystycznego opracowania wyników wykorzystano program Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

WYNIKI I DISKUSJA

Zawartość cynku w suchej masie części nadziemnych kukurydzy była zróżnicowana w zależności od roku badań i obiektu nawozowego (tab. 2), jednak w żadnym przypadku nie przekraczała dopuszczalnej wartości ustalonej dla roślin wykorzystywanych paszowo, wynoszącej według Kabaty-Pendias i in. [1993] 100 mg Zn·kg⁻¹ suchej masy. Średnia ważona zawartość cynku w częściach nadziemnych kukurydzy mieściła się w przedziale od 33,5 do 57,6 mg Zn·kg⁻¹ suchej masy.

Podobnie jak w badaniach własnych, również Krzywy i in. [2004] stwierdzili niską zawartość metali ciężkich, w tym cynku, w roślinach nawożonych osadami ściekowymi. Koncentracja tych pierwiastków nie stanowiła zagrożenia z punktu widzenia jakości pozyskanej biomasy. Jama-Rodzeńska i in. [2014] nie wykazali przekroczenia granicy fizjologicznej zawartości metali ciężkich w pędach wierzby nawożonej osadem ściekowym. Spychaj-Fabisiak i in. [2010] w uprawie kukurydzy na kiszonkę i przy aplikacji cynku w różnych formach (jako octan, siarczan(VI) i tlenek) stwierdziły zdecydowanie mniejszą jego zawartość niż w badaniach będących podstawą niniejszej publikacji.

We wszystkich latach badań własnych największą zawartość cynku stwierdzono w kukurydzy nawożonej nawozami mineralnymi. Rośliny nawożone materiałami organicznymi pochodzenia odpadowego zawierały istotnie mniej tego pierwiastka. W porównaniu do nawożenia obornikiem, rośliny uprawiane z wykorzystaniem kompostów, osadu ściekowego i mieszaniny osadu z popiołem charakteryzowały się zawartością cynku istotnie statystycznie mniejszą lub zawartości te nie były statystycznie zróżnicowane. Stosunkowo duża zawartość cynku w kukurydzy uprawianej na glebie nienawożonej była spowodowana niskim plonem tej rośliny, a więc efektem zagęszczenia [Tabak i Filipek-Mazur 2011]. Podobne wyniki dotyczące zawartości cynku w częściach nadziemnych kukurydzy uzyskał Gondek [2009], stosując do nawożenia tej rośliny w doświadczeniu wazonowym, obok nawozów mineralnych, osad ściekowy i jego mieszaninę z torfem.

Dla każdego obiektu ilość pierwiastka pobranego w każdym roku z plonem roślin obliczono jako iloczyn średniej zawartości pierwiastka w suchej masie plonu i średniej wielkości tego plonu. Sumaryczne ilości cynku pobranego z gleby obiektów nawożonych

Tabela 2. Zawartość cynku w częściach nadziemnych kukurydzy

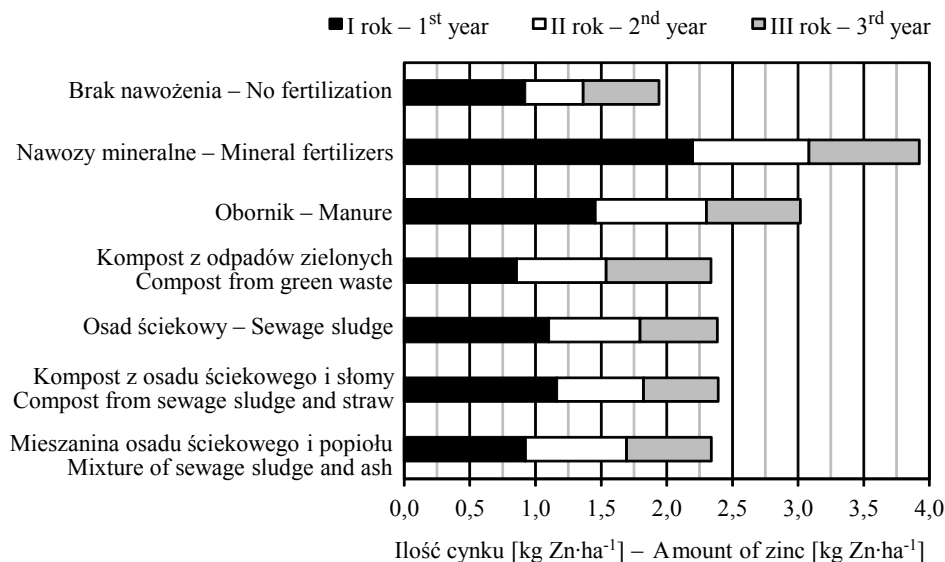
Table 2. Zinc content in maize top parts

Obiekt nawozowy Treatment	I rok 1 st year	II rok 2 nd year	III rok 3 rd year	Średnia ważona zawartość Weighted mean content
	[mg Zn·kg ⁻¹ s.m. ±SE] – [mg Zn·kg ⁻¹ d.m. ±SE]			
Brak nawożenia No fertilization	48,6 ^{bc*} ±2,3	33,7 ^b ±0,9	41,8 ^c ±2,8	42,3
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	72,0 ^d ±1,0	40,8 ^c ±1,7	53,0 ^d ±1,6	57,6
Obornik Manure	53,9 ^c ±4,1	34,3 ^b ±0,5	41,4 ^c ±0,7	43,8
Kompost z odpadów zielonych Compost from green waste	34,7 ^a ±1,2	28,2 ^a ±1,2	38,4 ^{bc} ±1,9	33,5
Osad ściekowy Sewage sludge	44,3 ^b ±3,0	28,3 ^a ±1,9	33,2 ^a ±0,3	35,5
Kompost z osadu i słomy Compost from sludge and straw	51,0 ^{bc} ±1,5	32,0 ^{ab} ±2,3	33,6 ^{ab} ±0,8	39,6
Mieszanka osadu i popiołu Mixture of sludge and ash	44,9 ^b ±2,8	33,6 ^b ±1,0	34,5 ^{ab} ±1,6	37,6

* wartości średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$, według testu Duncana (SE – błąd standardowy); mean values in columns marked with the same letters do not differ statistically significantly at $\alpha \leq 0.05$, according to the Duncan test (SE – standard error)

były większe od ilości pierwiastka pobranego z gleby nienawożonej (rys. 1). Najwięcej pierwiastka rośliny pobrały z gleby nawożonej nawozami mineralnymi. Ilości cynku pobranego przez rośliny z obiektów nawożonych odpadowymi materiałami organicznymi były z reguły mniejsze niż pobrane w efekcie nawożenia obornikiem. Bardzo duże pobranie cynku przez rośliny nawożone nawozami mineralnymi wynikało zarówno z wielkości plonu części nadziemnych kukurydzy, jak i z zawartości cynku w biomasie. To z kolei można tłumaczyć dużą dostępnością cynku w glebie obiektu nawożonego nawozami mineralnymi, spowodowaną większym zakwaszeniem gleby tego obiektu niż gleby nienawożonej i nawożonej materiałami organicznymi. Tendencję do korzystniejszego oddziaływania materiałów organicznych niż nawożenia mineralnego na fizykochemiczne właściwości gleby potwierdzają Filipek-Mazur i in. [2002].

Całkowita zawartość cynku w glebie przed założeniem doświadczenia wynosiła 70,3 mg Zn·kg⁻¹ s.m. [Tabak i Filipek-Mazur 2011]. Do gleby obiektów z nawożeniem materiałami organicznymi wprowadzono cynk w dawkach od 1,25 do 6,78 kg·ha⁻¹ (tab. 1). Gęstość badanej gleby wynosiła 1,58 Mg · m⁻³ (analizę wykonano metodą cylinderkową Kopecky'ego [Komornicki 1987]). Przyjmując, że miąższość warstwy ornej badanej gleby wynosiła średnio 30 cm, masa warstwy ornej gleby na powierzchni 1 hektara to 4740 ton. Dawka cynku w przeliczeniu na 1 kg gleby wynosiła więc 0,26–1,43 mg,



Rys. 1. Ilość cynku pobranego przez kukurydzę [kg Zn·ha⁻¹]

Fig. 1. Amount of zinc taken up by plants [kg Zn·ha⁻¹]

co stanowiło 0,37–2,03% całkowitej zawartości cynku w glebie przed rozpoczęciem doświadczenia polowego. Z uwagi na to, że dawki cynku i ilości tego pierwiastka pobrane przez rośliny w ciągu trzech lat badań (rys. 1) były stosunkowo niewielkie, w pracy przedstawiono zawartość cynku w glebie po zakończeniu doświadczenia (tab. 3).

Całkowita zawartość cynku w glebie nie wykazywała statystycznie istotnego zróżnicowania między obiektami i wynosiła od 66,7 (nawożenie nawozami mineralnymi) do 70,0 mg Zn·kg⁻¹ suchej masy (nawożenie mieszaniną osadu ściekowego i popiołu) (tab. 3). Większe zróżnicowanie stwierdzono w odniesieniu do form cynku ekstrahowanych kwasem octowym o stężeniu 0,11 mol·dm⁻³. Istotnie najwięcej tego pierwiastka w formach wymiennych oraz rozpuszczalnych w wodzie i kwasach stwierdzono w glebie nawożonej osadem ściekowym. W glebie nawożonej osadem ściekowym wykazano również największy udział zawartości tych form cynku w zawartości całkowitej wynoszący 29%. W pozostałych obiektach wartości te mieściły się w zakresie 25–27%.

Wojcieszczuk i in. [2011] wykazali zwiększanie zawartości cynku ogółem w glebie w wyniku stosowania osadu ściekowego. W badaniach Czeakały i in. [2012] stwierdzono systematyczne, chociaż powolne zwiększanie zawartości rozpuszczalnych w roztworze 1 mol HCl·dm⁻³ form cynku po zastosowaniu osadu ściekowego, w miarę zwiększania dawek osadu. Cynk wnoszony do gleby wraz z osadem ściekowym lub materiałami powstałymi z jego udziałem szybko i w znacznym stopniu podlega przemianie do form przyswajalnych, co wynika z rodzaju połączeń chemicznych tego pierwiastka w osadach ściekowych [Jakubus i Czeakała 2001]. Gondek [2009] najwięcej mobilnych form cynku stwierdził w glebach lekkich, jednocześnie w glebach po aplikacji osadu ściekowego i jego mieszaniny z torfem wykazał mniej mobilnych form cynku niż w glebie nawożonej nawozami mineralnymi, co potwierdzają wyniki badań własnych.

Tabela 3. Zawartość cynku w glebie w trzecim roku badań oraz udział zawartości form ekstrahowanych 0,11 mol·dm⁻³ kwasem octowym w całkowitej zawartości cynkuTable 3. Zinc content in soil in the 3rd year of the research and share of forms extracted with 0.11 mol·dm⁻³ acetic acid in the total zinc content

Obiekt nawozowy Treatment	Całkowita zawartość Total content	Zawartość form ekstrahowanych 0,11 mol·dm ⁻³ kwasem octowym Content of forms extracted with 0.11 mol·dm ⁻³ acetic acid	Udział Share [%]
		[mg Zn·kg ⁻¹ s.m. ±SE] [mg Zn·kg ⁻¹ d.m. ±SE]	
Brak nawożenia No fertilization	67,4 ^a ±1,6	17,8 ^{ab} ±0,4	26
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	66,7 ^a ±0,8	17,8 ^{ab} ±0,2	27
Obornik Manure	66,9 ^a ±1,4	17,3 ^a ±0,4	26
Kompost z odpadów zielonych Compost from green waste	68,4 ^a ±1,6	17,4 ^{ab} ±0,3	25
Osad ściekowy Sewage sludge	68,8 ^a ±1,4	19,8 ^c ±0,4	29
Kompost z osadu i słomy Compost from sludge and straw	69,6 ^a ±1,5	17,3 ^a ±0,5	25
Mieszanka osadu i popiołu Mixture of sludge and ash	70,0 ^a ±1,8	18,5 ^b ±0,2	26

* jak w tabeli 2; as in table 2

WNIOSKI

1. Największą zawartość cynku stwierdzono w kukurydzy nawożonej nawozami mineralnymi, ale mieściła się ona w zakresie zawartości dopuszczalnych przy paszowym wykorzystaniu roślin. Rośliny nawożone materiałami organicznymi pochodzenia odpadowego zawierały istotnie mniej cynku.

2. Całkowita zawartość cynku w glebie nie wykazywała statystycznie istotnego zróżnicowania w zależności od zastosowanego nawożenia.

3. W porównaniu do nawożenia mineralnego i obornikiem istotnie więcej form cynku ekstrahowanych kwasem octowym o stężeniu 0,11 mol·dm⁻³ stwierdzono jedynie w glebie nawożonej osadem ściekowym. W glebie tego obiektu wykazano największy procentowy udział zawartości form ekstrahowanych kwasem octowym (czyli form wymiennych, rozpuszczalnych w wodzie i kwasach) w całkowitej zawartości cynku.

Podziękowania

Wyniki badań zrealizowane w ramach tematu nr 3101 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez MNiSW.

LITERATURA

- Anonim., 2002. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U. 2002, nr 134, poz. 1140.
- Anonim., 2010. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U. 2010, nr 137, poz. 924.
- Anonim., 2015a. Rocznik Statystyczny RP. GUS, Warszawa.
- Anonim., 2015b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U. 2015, poz. 257.
- Baran A., 2011. Reakcja kukurydzy na toksyczną zawartość cynku w glebie. Proc. ECOPOle 5(1), 154–160.
- Brekken A., Steinnes E., 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals. Sci. Tot. Environ. 326, 181–195.
- Czekała J., Mocek A., Owczarzak W., 2012. Działanie wieloletniego nawożenia osadami ściekowymi na zawartość form rozpuszczalnych cynku i miedzi w glebie. Zeszyty Nauk. UP Wrocław, Rolnictwo CIII, 589, 43–50.
- Filipek-Mazur B., Mazur K., Gondek K., 2002. Effect of origin and date of application of sewage sludge on soil properties and heavy metal concentrations. Chem. Inż. Ekol. 9(11), 1325–1331.
- Gondek K., 2009. Zinc content in maize (*Zea mays* L.) and soils fertilized with sewage sludge and sewage sludge mixed with peat. Polish J. Environ. Stud. 18, 3, 359–368.
- Jakubus M., Czekała J., 2001. Heavy metal speciation in sewage sludge. Polish J. Environ. Stud. 10, 4, 245–250.
- Jama-Rodzeńska A., Bocianowski J., Nowak W., 2014. Wpływ komunalnych osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich w pędach klonów wierzby krzewistej (*Salix viminalis* L.). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 576, 45–56.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T., 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG, Puławy.
- Komornicki T. (red.), 1987. Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i geologii. Część II. Metody laboratoryjne analizy gleby. AR w Krakowie.
- Krzywy E., Iżewska A., Wołoszyk Cz., 2004. Bezpośredni i następczy efekt osadów ze ścieków komunalnych oraz kompostów z osadów na plon i zawartość mikroelementów w słomie *Miscanthus sacchariflorus*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 502, 865–875.
- Kucharski J., Wyszowska J., Boros-Lajszer E., Baćmaga M., Tomkiel M., 2011. Reakcje drobnoustrojów na zanieczyszczenie cynkiem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 567, 149–158.
- Mossop K.F., Davidson, C.M. 2003. Comparison of original and modified BCR sequential extraction procedures for the fractionation of copper, iron, lead, manganese and zinc in soils and sediments. Anal. Chim. Acta 478, 111–118.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. IOŚ, Warszawa.
- Rigueiro-Rodriguez A., Mosquera-Losada M. R., Ferreiro-Dominguez N., 2012. Pasture and soil zinc evolution in forest and agriculture soils of Northwest Spain three years after fertilisation with sewage sludge. Agric., Ecosyst. Environ. 150, 111–120.

- Spychaj-Fabisiak E., Murawska B., Janowiak J., 2010. Reakcja kukurydzy uprawianej na kiszonce na nawożenie różnymi formami cynku. Zesz. Nauk. UP we Wrocławiu, Rolnictwo XCVII, 578, 75–84.
- Tabak M., Filipek-Mazur B., 2011. Formation of maize yield as a result of fertilization with organic materials. Ecol. Chem. Eng. A 18, 9–10, 1355–1362.
- Tabak M., Filipek-Mazur B., 2012. Content and uptake of nitrogen by maize fertilized with organic materials derived from waste. Ecol. Chem. Eng. A 19, 6, 537–545.
- Vulkan R., Mingelgrin U., Ben-Asher J., Frenkiel H., 2002. Copper and zinc speciation in the solution of soil-sludge mixture. J. Environ. Qual. 31, 193–202.
- Wojcieszczuk T., Hammal O., Sammel A., 2011. Wpływ osadów ściekowych miejskich z Deir Ez Zor na właściwości gleby lekkiej i ciężkiej w Syrii. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 565, 383–391.

INFLUENCE OF FERTILIZATION WITH ORGANIC MATERIALS DERIVED FROM WASTE ON CONTENT OF ZINC IN MAIZE AND SOIL

Summary. The aim of the research was to determine the effect of fertilization with waste organic materials on the content and uptake of zinc by maize (plants were cultivated for silage) as well as on the total and available zinc contents in soil. A three-year field experiment comprised 7 treatments: a non-fertilized soil (control) as well as a soil fertilized with mineral fertilizers, manure, green waste compost, sewage sludge, compost from sewage sludge and straw, and a mixture of sewage sludge and hard coal ash. The manure contained 223 mg Zn·kg⁻¹ d.m. (1.25 kg Zn·ha⁻¹ was introduced to the soil with the fertilizer), whereas other organic materials contained between 285 and 855 mg Zn·kg⁻¹ d.m. (doses from 3.16 to 6.78 kg·ha⁻¹ were introduced). The manure and organic materials were used for fertilization during first year of the research. Mineral fertilizers were used in the second and third year (they were also used to level N, P and K doses during the first year of the research). The zinc content was determined by ICP-AES method. Statistical elaboration of the results was done by means of univariate variation analysis, and the significance of differences between the mean values was estimated using the Duncan test. During the research, no contamination of the soil with zinc was stated (the soil contained between 66.7 and 70.0 mg Zn·kg⁻¹ d.m.). The zinc content in the maize did not exceed the permissible content for fodder plants (weighted mean content in the plants reached 33.5–57.6 mg Zn·kg⁻¹ d.m.). The highest zinc content was observed in the maize fertilized with mineral fertilizers. The plants fertilized with waste organic materials contained significantly less zinc than the control plants or these contents were similar. The total uptake of zinc from the fertilized soil was higher than the uptake from the control soil (the highest uptake was from the soil fertilized with mineral fertilizers). No significant effect of fertilization on the total zinc content in the soil was determined. The soil fertilized with sewage sludge had the highest content of available forms of zinc (19.8 mg·kg⁻¹ d.m. of zinc extracted with 0.11 mol·dm⁻³ acetic acid).

Key words: sewage sludge, compost, zinc, maize, soil