

WPŁYW NAWOŻENIA OSADEM ŚCIEKOWYM I BIOODPADAMI NA ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W NASIONACH GORCZYCY BIAŁEJ

Elżbieta Wołejko¹, Urszula Wydro¹, Marta Łazowska, Joanna Kazanowska²,
Agata Jabłońska-Trypuć¹, Tadeusz Łoboda¹

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, ul. Wiejska 45d., 15–351 Białystok, e-mail: e.wolejko@pb.edu.pl

² Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Suwałkach, ul. Noniewicza 10, 16-400 Suwałki

STRESZCZENIE

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu nawożenia osadem ściekowym oraz bioodpadami na zawartość metali ciężkich w nasionach gorczycy białej (*Sinapis alba*). Badania prowadzone były w 2012 r. na polkach doświadczalnych PWSZ w Suwałkach. Każdą z powierzchni badawczych podzielono na 3 bloki o powierzchni 18 m² każdy, stanowiące kolejne powtórzenia. Do nawożenia obiektów badawczych zastosowano trzy różne warianty nawozowe: K1 – osad ściekowy, K2 – osad ściekowy poddany procesowi kompostowania wraz z trzymiesięcznym kompostem odpadów organicznych i K3 – osad ściekowy poddany procesowi kompostowania wraz z trzymiesięcznym kompostem odpadów organicznych z preparatem biologicznym Trigger-4. Określono podstawowe właściwości fizykochemiczne, mikrobiologiczne i parazytologiczne osadów ściekowych, zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. Dz.U. 2010 nr 137 poz. 924 w sprawie komunalnych osadów ściekowych. W ziarnach gorczycy rosnącej na poszczególnych wariantach nawozowych oznaczono zawartość metali ciężkich takich jak Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że zawartości kadmu w nasionach gorczycy wahała się od 0,20 mg/kg s.m. w wariantcie K3 do 0,93 mg/kg s.m. w wariantcie K1. Z kolei zawartość ołowiu mieściła się w granicach od 0,30 do 4,25 mg/kg s.m., co oznacza że żadna z analizowanych próbek nie spełnia normy zawartości ołowiu i kadmu zawartej w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że zawartość ogólna Cd w ziarnie gorczycy była istotnie ujemnie skorelowana z zawartością Ni i Zn (odpowiednio, $r = -0,89$ i $r = -0,54$) przy $p \leq 0,05$. Zaobserwowano również istotną dodatnią korelację pomiędzy odczynem gleby a zawartością metali w nasionach gorczycy. Wartość pH była istotnie skorelowana z Ni ($r = 0,60$) i Zn ($r = 0,55$) przy $p \leq 0,05$.

Słowa kluczowe: bioodpady, metale ciężkie, osad ściekowy, *Sinapis alba*

THE INFLUENCE OF FERTILIZATION WITH SEWAGE SLUDGE AND BIOSOLIDS ON HEAVY METAL CONTENT IN WHITE MUSTARD SEEDS

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the influence of fertilization with sewage sludge and biosolids on heavy metal content in white mustard (*Sinapis alba*) seeds. The study was conducted in 2012 on experimental plots in the State Higher Vocational School in Suwałki. Each research area was divided into 3 blocks 18 m² each, constituting repetitions. The test areas were fertilized with three different fertilization variants with sewage sludge biosolids: K1 – sewage sludge, K2 – sludge subjected to a process of composting with a three-month compost organic waste and K3 – sludge subjected to the composting process with a three-month compost organic waste from the biological preparation Trigger – 4. The samples of sewage sludge were collected for the analysis and one determined its basic physical, chemical, microbiological and parasitological properties, in accordance with the requirements of the Decree of the Minister of the Environment of July 13th 2010 on municipal sewage sludge (Journal of Laws of 2010 No 137 item. 924). Based on these results, it was found that the cadmium concentrations in the seeds mustard ranged from 0.2 mg/kg s.m. on plots with the variant K3 to 0.93 mg/kg s.m. in the variant K1. On the other hand, lead content ranged from 0.3 to 4.25 mg/kg s.m. which shows that none of the analyzed samples met the standards for lead and cadmium contained in the Decree of the Minister of Health of January 13th 2003. The statistical analysis indicated that the concentrations of Cd in mustard seed was significantly correlated with the concentrations of

Ni and Zn (respectively, $r = -0.89$ and $r = -0.54$). There were significant positive correlations between soil pH and metal concentrations in the seeds of mustard. The pH was significantly correlated with Ni ($r = 0.60$) and Zn ($r = 0.55$) at a $p \leq 0.05$.

Keywords: biosolid, sewage sludge, heavy metals, *Sinapis alba*

WSTĘP

Wraz z szybkim rozwojem cywilizacji następuje systematyczny wzrost masy generowanych osadów ściekowych. Tak duże ilości osadów stanowią poważny problem ekologiczny, techniczny i ekonomiczny [Wilk i Gawronek 2009]. Jak podaje Bień et al. [2011] znaczący wpływ na zagospodarowanie osadów ściekowych w Polsce mają wymogi prawne związane z członkostwem naszego kraju w Unii Europejskiej, co skutkuje zakazem od 1 stycznia 2016 roku składowania osadów ściekowych. Komunalne osady ściekowe charakteryzują się dużą zmiennością składu chemicznego zależną od właściwości odpadów, technologii ich oczyszczania oraz przeróbki osadów [Rosik-Dulewska i in. 2007]. Z tego względu mogą one zawierać wiele szkodliwych dla środowiska przyrodniczego związków takich jak metale ciężkie [Żukowska i in. 2002], wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), chlorowcopochodne związki organiczne (AOX), polichlorowane bifenylole (PCB), polichlorowane dibenzodioxyny (PCDD) – dioksyny oraz polichlorowane dibenzofurany (PCDF) – furany [Oleszczuk 2007], jak również organizmy chorobotwórcze [Żukowska i in. 2002]. Według Singh i Agrawal [2008] osady ściekowe wywierają również korzystny wpływ na właściwości gleb i mogą być wykorzystywane w rolnictwie jako nawóz; do rekultywacji, zagospodarowania terenów zdegradowanych oraz hydroobsiewu skarp. Szacuje się, że 35–40% odpadów komunalnych stanowi frakcja organiczna. Ze względu na tak dużą zawartość materii organicznej i składników pokarmowych posiadają one doskonały potencjał nawozowy i próchnicotwórczy, w związku z tym zawarte w osadzie ściekowym biogeny powinny powrócić do obiegu przyrodniczego, skąd mogą być wykorzystane przez rośliny [Siuta 2003].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 2015 r. [Rozporządzenie...2015], dopuszczalna dawka komunalnych osadów ściekowych na cele rolnicze jest uzależniona od rodzaju gruntu, jakości wprowadzanych osadów, sposobu jego użytkowania oraz zapotrzebowanie roślin na pierwiastki takie jak fosfor i azot.

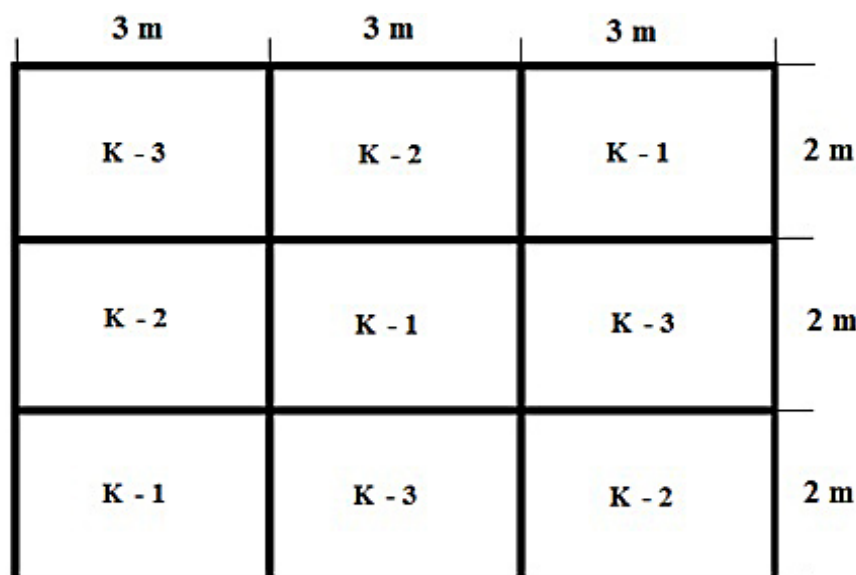
Gorzycza biała (*Sinapis alba*) uprawiana jest powszechnie zarówno w Polsce jak i na świecie ze względu na jej wielofunkcyjny charakter. Jest ona wykorzystywana w przemyśle paszowym, chemicznym, kosmetycznym, farmaceutycznym a nawet energetycznym [Piętka i in. 2004, Sawicka i Kotiuk 2006]. Według Sawickiej i Kotiuk [2006] oraz Harasimowicz-Hermann i Hermann [2006], uprawa międzyplonów z udziałem gorzycy białej wpływa na poprawę właściwości gleby poprzez uzupełnianie zasobów materii organicznej oraz ograniczenie migracji biogenów do środowiska, jak również obniżenie nakładów na nawożenie roślin następczych. Z kolei ziarno gorzycy do spożycia przez ludzi lub zwierzęta gospodarskie, charakteryzuje się wysoką zawartością tłuszczu oraz białka, które posiada korzystny skład aminokwasowy [Sawicka i Kotiuk 2007].

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu nawożenia osadem ściekowym oraz bioodpadami na zawartość metali ciężkich w nasionach gorzycy białej (*Sinapis alba*).

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzone były w 2012 r na polstkach doświadczalnych należących do PWSZ w Suwałkach. Każdą z powierzchni badawczych podzielono na 3 bloki o powierzchni 18 m² każdy, stanowiące kolejne powtórzenia. Do nawożenia obiektów badawczych zastosowano trzy różne warianty nawozowe: K1-osad ściekowy, K2-osad ściekowy poddany procesowi kompostowania wraz z trzymiesięcznym kompostem odpadów organicznych i K3 – osad ściekowy poddany procesowi kompostowania wraz z trzymiesięcznym kompostem odpadów organicznych z preparatem biologicznym Trigger-4 (rys. 1).

Przed poddaniem procesowi kompostowania osad ściekowy pobrano do analiz i określono jego podstawowe właściwości fizykochemiczne, mikrobiologiczne i parazytologiczne, zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. Dz.U. 2015 poz. 257 w sprawie komunalnych osadów ściekowych (tab. 1). W badanych próbkach nie wykryto



Rys. 1. Schemat powierzchni badawczej
Fig. 1. Scheme of test area

żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. w 1 kg suchej masy. Osad po procesie kompostowania wraz z trzymiesięcznym kompostem, wyprodukowanym z niesegregowanych stałych odpadów komunalnych w suwalskiej kompostowni pracującej w biotechnologii „Dano” również został pobrany do analizy i określono jego właściwości fizykochemiczne (tab. 1).

Materiał osadu zmieszano z masą odpadów organicznych w stosunku 4:1 i umieszczono w dwóch 40-litrowych pojemnikach. W jednym komposterze do około 20 kg masy dodano 100 g preparatu biologicznego Trigger-4. Biopreparat, produkowany w Wytwórni Preparatów do Ochrony Środowiska w Tarnobrzegu, zawierał w swoim składzie: bakterie, enzymy, aktywatory biologiczne, substancje pożytkujące, nośniki mi-

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne wprowadzonego do gleby osadu ściekowego z Oczyszczalni Ścieków w Suwałkach oraz kompostu „Dano”

Table 1. Physicochemical properties of sludge from the Wastewater Treatment Plant in Suwałki and compost “Dano” introduced into the soil

Parametry	Jednostki	Osad ściekowy	Kompost “Dano”	Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych wykorzystywanych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne
pH	–	7,9	7,4	
Sucha masa	%	20,5	75,4	
Substancja organiczna	% s.m.	72,0	32,7	
Azot ogólny	% s.m.	7,47	1,04	
Fosfor ogólny	% s.m.	3,99	0,53	
Wapń	% s.m.	4,20	3,20	
Magnez	% s.m.	1,4	0,95	
Ołów	mg Pb·kg-1 s.m.	15,6	173,7	750
Kadm	mg Cd·kg-1 s.m.	8,4	1,53	20
Chrom	mg Cr·kg-1 s.m.	14,2	56	500
Miedź	mg Cu·kg-1 s.m.	128	183,7	1000
Nikiel	mg Ni·kg-1 s.m.	19,0	28	300
Cynk	mg Zn·kg-1 s.m.	1072	743	2500
Rtęć	mg Hg·kg-1 s.m.	0,76	0,44	16

neralne o rozwiniętej powierzchni oraz substancje stabilizujące. Przeznaczony jest do procesu biodegradacji odpadów organicznych, tj. odpadów roślinnych, zwierzęcych, papieru, drewna, odchodów, ścieków, itp. W trakcie prowadzenia procesu kompostowania napowietrzano substrat oraz mierzono temperaturę.

Przygotowano poletka doświadczalne, na które zastosowano poszczególne warianty nawozowe zgodnie z rys. 1. Na początku kwietnia wysiano nasiona gorczycy białej w rozstawie 20 – 25 cm, na głębokość około 2,5–3 cm. W sierpniu 2012 r. zebrano nasiona z poszczególnych poletek, następnie wysuszono i zmielono materiał, który po uprzedniej mineralizacji „na sucho” w piecu muflowym, w temperaturze 450°C, został rozpuszczony w HNO₃ [Filipka i in. 2003]. W uzyskanym mineralizacie oznaczono zawartość metali ciężkich metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej na aparacie Varian Spectra AA-100. Do oceny poprawności wyników wykorzystano materiał odniesienia ERM-CD281.

Uzyskane wyniki poddane zostały podstawowej analizie statystycznej. Ponadto określono relację między poszczególnymi metalami w ziarnie gorczycy stosując korelację rang według Spearmana (dla $n < 50$) przy poziomie istotności $p \leq 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Występowanie metali w roślinie i interakcja ich między sobą jest uzależniona od rodzaju gleby, tekstury jak również od pH. W badaniach własnych odczyn kompostu jak i osadu (tab. 1) był obojętny, co sugeruje iż zawarte w nich metale ciężkie nie powinny stanowić większego zagrożenia dla roślin. Jednak jak podaje Tarek and Shehata [2015] w trakcie wzrostu roślin i rozwoju korzeni wydzielają one do gleby kwasy organiczne, które mogą zwiększać rozpuszczalność metali ciężkich i wpływać na ich wchłanianie poprzez system korzeniowy.

Kadm należy do pierwiastków występujący w środowisku glebowym w stężeniu od 0,01 do 5 mg/kg. Rośliny pobierając kadm mogą gromadzić go w różnych częściach co jest niebezpieczne, gdyż konsumpcja takich roślin może wpływać na upośledzenie pracy nerek i strukturę kości, ale także i na narządy rozrodcze samic, dzięki czemu jest to poważne zagrożenie dla zwierząt i ludzi [Sun and Li, 2015]. W badaniach własnych zawartość kadmu w nasionach gorczycy wynosiła

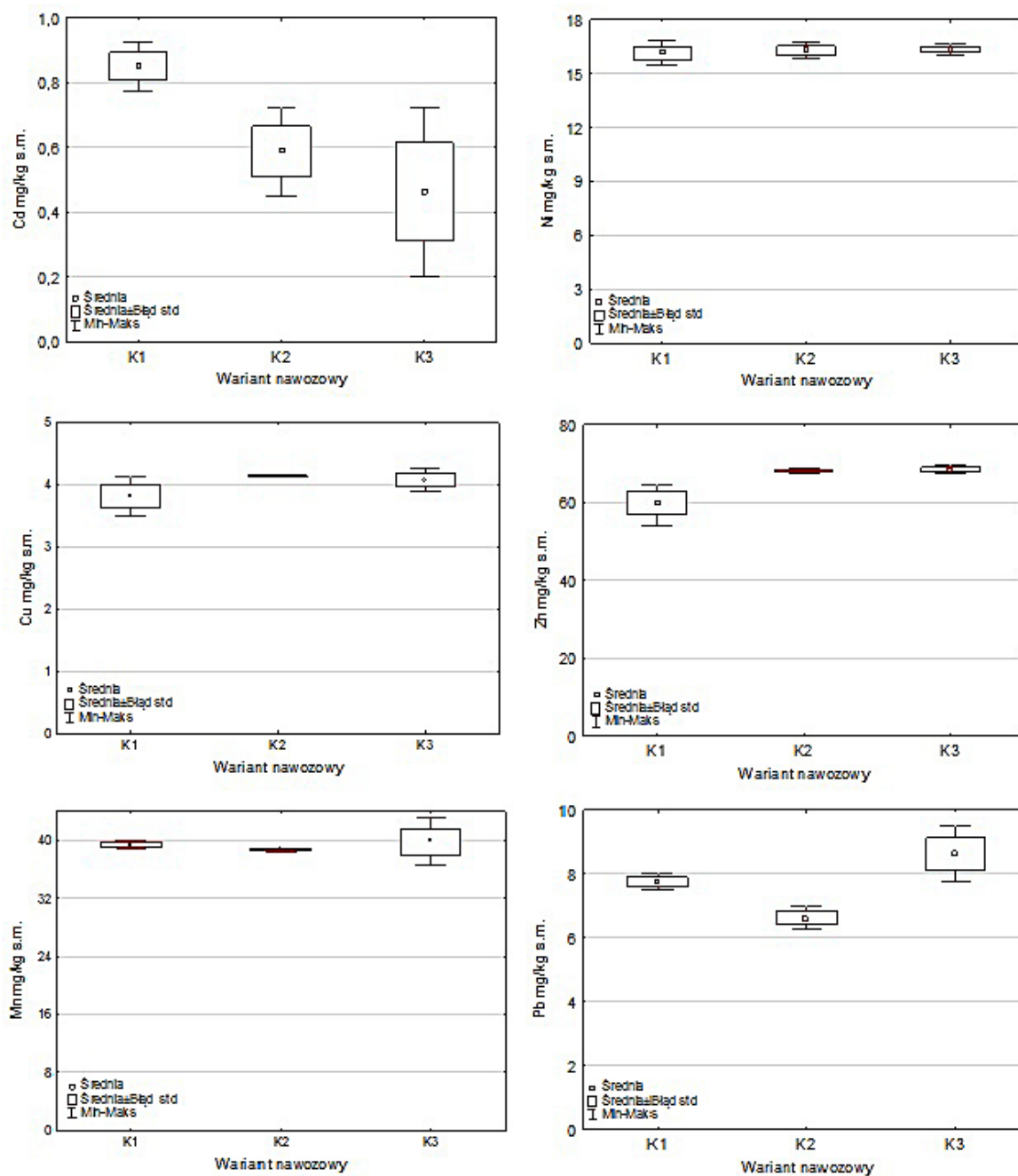
od 0,2 do 0,93 mg/kg s.m. Najwyższy poziom Cd stwierdzono w próbkach z wariantu K1, natomiast najniższy w ziarnie zebranych z poletek gdzie zastosowano wariant K3 (rys. 2).

Zastosowany wariant nawozowy K2 i K3 w badaniach własnych wpłynął nieznacznie na wzrost zawartości miedzi w nasionach gorczycy, jego zawartość w nasionach wzrosła o 12% w porównaniu do wariantu K1. Ilość miedzi w nasionach gorczycy była w granicach od 3,50 do 4,25 mg/kg s.m, natomiast Mn od 36 do 42 mg/kg s.m (rys. 2). Adamczyk-Szabela i in. [2015] podają, iż zasadowość gleb może zwiększać mobilność niektórych metali takich jak Cu i Mn, a tym samym powodować większe wchłanianie przez rośliny.

Nikiel podobnie jak miedź i mangan jest niezbędnym mikroelementem do wzrostu i rozwoju roślin, jednak przy wysokich stężeniach staje się toksyczny i może wpływać na przepuszczalność błon, hamować kiełkowanie, ograniczać wzrost i rozwój rośliny, a tym samym wpływać na zmniejszenie plonu [Boominathan i Doran 2002]. Kumulacja Ni w nasionach gorczycy była na tym samym poziomie i wynosiła około 16,0 mg/kg s.m nie zależnie od zastosowanego wariantu nawozowego. Jak zauważyli Antonkiewicz i Jasiewicz [2002] nikiel należy do grupy pierwiastków dość mobilnych i łatwo pobieranych przez rośliny jednak jego przemieszczanie się do części nadziemnych jest znacznie utrudnione.

Ołów podobnie jak i kadm są pierwiastkami zupełnie niepotrzebny dla rozwoju roślin, jednak obecność ołowiu w środowisku powyżej 30 mg może już prowadzić do spadku (może lepiej obniżenia intensywności)? wzrostu i syntezy chlorofilu w liściach [Sun i Li 2015], jak również zmniejszenia wchłaniania przez rośliny niezbędnych elementów, takich jak Fe [Sharma i Dubey 2005]. Najwyższa zawartość ołowiu w badaniach własnych była w ziarnie zebranych z poletek z wariantu nawozowego K3 (9,50 mg/kg s.m), natomiast najniższa została zaobserwowana w ziarnie zebranych z poletek z wariantu nawozowego K2 – 6,25 mg/kg s.m (rys. 2), co oznacza, iż w żadnym wariantcie nawozowym nasiona gorczycy białej nie spełniają normy określonej w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. [Rozporządzenie...2003].

Działalność mikroorganizmów w strefie ryzosferowej może wpłynąć na zwiększenie rozpuszczalności Zn, a tym samym na większe pobieranie tego pierwiastka przez rośliny o czym donoszą Zhao i in. [2001]. Potwierdzają to badania



Rys. 2. Zawartość metali ciężkich w nasionach gorczycy białej (*Sinapis alba*) w zależności od zastosowanego wariantu nawozowego

Fig. 2. Content of heavy metals in white mustard seeds (*Sinapis alba*) depending on the applied fertilization variant

własne, gdzie dodatkowo zastosowany preparat biologiczny Trigger-4 w wariantcie nawozowym K3 wpłynęła na większe gromadzenie Zn w nasionach gorczycy. Zawartość Zn w nasionach wahała się w zależności od wariantu nawozowego od 54,0 do 69,5 mg/kg s.m. (rys. 2).

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że zawartość ogólna Cd w ziarnie gorczycy była istotnie ujemnie skorelowana

z zawartością Ni i Zn (odpowiednio, $r=-0,89$ i $r=-0,54$), co potwierdzają badania przeprowadzone przez Brzósę i Moniuszko-Jakoniuk [2001]. Kadm z cynkiem konkuruje o miejsce wiązania na metalotioneinach, które są ważne dla magazynowania i transportu Zn podczas procesów biologicznych. Istotną dodatnią korelację zaobserwowano także między Cu a Ni ($r=0,63$) przy $p \leq 0,05$ (tab. 2).

Tabela 2. Analiza korelacji rang Spearmana dla poszczególnych metali w ziarnie gorczycy oraz pomiędzy pH gleby a zawartością metali w ziarnie (n=9)**Table 2.** Spearman's rank correlation analysis for each metal in mustard seeds and between soil pH and the metal content in grains (n = 9)

	pH	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Zn
pH	1,00						
Cu	0,23	1,00					
Mn	0,10	0,29	1,00				
Pb	0,22	-0,07	-0,084	1,00			
Cd	0,60*	-0,37	0,20	0,04	1,00		
Ni	-0,24	0,63*	0,16	-0,16	-0,89*	1,00	
Zn	0,55*	-0,13	-0,65*	-0,12	-0,54*	0,26	1,00

Odczyn gleby może decydować o mobilności metali ciężkich z gleby do rośliny. Stwierdzono istotną dodatnią korelację pomiędzy odczynem gleby a zawartością w gorczycy białej Ni ($r=0,60$) i Zn ($r=0,55$) przy $p \leq 0,05$.

WNIOSKI

1. Zastosowany w badaniach wariant nawozowy K3 spowodował spadek w ziarnie gorczycy białej zawartości kadmu, natomiast wariant K2 zawartość ołowiu.
2. Zaobserwowano ujemną korelację pomiędzy Cd a Ni i Zn w ziarnie gorczycy oraz dodatnią korelację pomiędzy Cu a Ni.
3. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że zawartości kadmu i ołowiu w nasionach gorczycy białej nie spełnia normy określonej w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r., co oznacza, że ziarno nie powinno być spożywane przez ludzi i zwierzęta gospodarskie.
4. Stwierdzono, że ze względu na dużą podatność na gromadzenie metali w nasionach gorczycy białej nie powinno się wykorzystywać do jej uprawy w celach spożywczych i paszowych osadu ściekowego oraz bioodpadów na bazie osadu ściekowego.

Podziękowania

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego finansowanego ze środków S/WBiIS/3/2015.

LITERATURA

1. Adamczyk-Szabela D., Markiewicz J., Wolf W.M. 2015. Heavy metal uptake by herbs. IV. Influence of soil pH on the content of heavy metals in *Valeriana officinalis* L. *Water Air Soil Pollut.* 226 (4), 106.
2. Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz. 2002. Ocena przydatności różnych gatunków roślin do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus.* 1–2, 119–130.
3. Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M. 2011. Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013 *Inż. Ochr. Środow.* 14 (4), 375–384.
4. Boominathan R., Doran P.M. 2002. Ni-induced oxidative stress in roots of the Ni-hyperaccumulator, *Alyssum bertolonii*, *New Phytologist.* 156, 205–215.
5. Brzóska M.M., Moniuszko-Jakoniuk J. 2001. Interactions between cadmium and zinc in the organism. *Food Chem Toxicol.* 39(10), 967–80.
6. Filipka T., Kaczor A., Badora A. *Fundamentals and consequences of chemization of agroecosystems*, Akademia Rolnicza Lublin. 2003.
7. Harasimowicz-Hermann G., Hermann J. 2006. Funkcja międzyplonów w ochronie zasobów mineralnych i materii organicznej gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, cz. I. 512, 147–155.
8. Oleszczuk P. 2007. Zanieczyszczenia organiczne w glebach użyźnianych osadami ściekowymi. Część II. losy zanieczyszczeń w glebie. *Ecol. Chem. Eng. A.* 14, 186–198.
9. Piętka T., Krótka K., Krzymański J. 2004. Gorczyca biała podwójnie ulepszone – alternatywna jara roślina oleista. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crops.* XXV(2), 403–413.

10. Rosik-Dulewska Cz., Karwaczyńska U., Głowala K. 2007. Przyrodnicze wykorzystanie komunalnych osadów ściekowych i kompostów z odpadów komunalnych – wartość nawozowa a zagrożenia dla środowiska. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska. 23, 137–153.
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności. (Dz.U. 2003 nr 37 poz. 326).
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. z 2015 r. poz. 257).
13. Sawicka B., Kotiuk E. 2006. Evaluation of health safety of mustards in the obligatory norms. Acta Sci. Pol., Technol. Alim. 5(2), 165–177.
14. Sawicka B., Kotiuk E. 2007. Gorczyce jako rośliny wielofunkcyjne. Acta Sci. Pol., Agricultura. 6(2), 17–27.
15. Sharma, P., Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17 (1), 35–52.
16. Singh R.P., Agrawal M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Manage.;28: 347–358.
17. Siuta J. 2003. Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. Inżynieria Ekologiczna Nr 9: Rekultywacyjne i nawozowe użytkowanie odpadów organicznych, Wyd. Naukowe Gabriel Borowski, Warszawa 7–42.
18. Sun, Y., Li, Y. 2015. In situ stabilization remediation of cadmium (Cd) and lead (Pb) co-contaminated paddy soil using bentonite. Appl. Clay Sci. 10, 200–206.
19. Tarek, M., Shehata, S. 2015. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. Ecol. Indicators. 48, 244–251.
20. Wilk M., Gawronek B. 2009. Metale ciężkie w osadach ściekowych. Ochr. Śr. Zasobów. Nat. 39, 40–58.
21. Zhao, F.J., Hamon, R.E., McLaughlin, M.J. 2001. Root exudates of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* do not enhance metal mobilization. New Phytol. 151, 613–620.
22. Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S. 2002. Wpływ nawożenia osadem ściekowym na substancję organiczną gleby lekkiej pod uprawą wikliny. Acta Agrophysica. 73, 357–367.