

**Barbara Symanowicz\*, Stanisław Kalembasa\*\*, Wojciech Skorupka\*\*\***

**WPLYW NAWOŻENIA FOSFOREM I POTASEM NA POBIERANIE  
METALI CIĘŻKICH PRZEZ RUTWICĘ WSCHODNIĄ (GALEGA  
ORIENTALIS LAM.)**

**THE INFLUENCE PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION ON  
HEAVY METALS UPTAKE BY GOAT'S RUE (GALEGA ORIENTALIS LAM.)**

**Słowa kluczowe:** nawożenie fosforowo-potasowe, rutwica wschodnia, kadm, ołów, współczynniki bioakumulacji.

**Keywords:** phosphorus and potassium fertilization, goat's rue, cadmium, lead, bio-accumulation indexes.

**Streszczenie**

*W pracy przedstawiono zmiany zawartości kadmu i ołowiu w glebie i w biomacie rutwicy wschodniej, uprawianej w latach 2005–2007. Doświadczenie polowe prowadzono na polu doświadczalnym, należącym do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. W badaniach uwzględniono sześć obiektów ze zróżnicowanym nawożeniem fosforowo-potasowym.*

*W każdym roku prowadzenia badań zbierano trzy pokosy rośliny testowej w fazie pąkowania. Zawartość całkowitą Cd i Pb w roślinie i w glebie oznaczono na spektrofotometrze emisyjnym z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-AES).*

*Nawożenie fosforowo-potasowe istotnie wpłynęło na zmniejszenie zawartości kadmu w biomacie rutwicy wschodniej. Najmniejszą zawartość kadmu i ołowiu oznaczono w ro-*

---

\* *Dr hab. inż. Barbara Symanowicz, prof. nzw. UPH – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 64313 84; e-mail: bsymanowicz@uph.edu.pl*

\*\* *Prof. zw. dr hab. Stanisław Kalembasa – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 64312 87; e-mail: kalembasa@uph.edu.pl*

\*\*\**Mgr inż. Wojciech Skorupka – studia doktoranckie – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce.*

ślinie testowej nawożonej dawką  $P_{50}K_{250}$ . Największą zawartość kadmu zaś oznaczono w glebie nawożonej dawką  $P_{50}$  i  $P_{50}K_{150}$ . Najwięcej ołowiu stwierdzono w glebie nawożonej dawką  $P_{50}K_{250}$ . Współczynniki bioakumulacji kadmu i ołowiu kształtowały się na niskim poziomie.

### Summary

The paper presents the changes in cadmium and lead in soil and biomass of goat's rue cultivated in 2005 – 2007. The experiment was conducted in the experimental object, belonged to by the Siedlce University of Natural Sciences and Humanities. The study included six objects with variable PK fertilization. The three cuts of the test plant at the stage of budding were collected in each year of the study. The content of Cd and Pb in the plant and soil was determined by emission spectrophotometry with inductively coupled plasma (ICP-AES).

Phosphorus – potassium fertilization significantly influenced the decrease in cadmium content in the biomass of the goat's rue. The least of cadmium and lead were determined in a test plant fertilized with doses  $P_{50}K_{250}$ . The highest content of Cd was determined in the soil fertilized with  $P_{50}$  and  $P_{50}K_{150}$  doses. The most of Pb was determined in soil fertilized with  $P_{50}K_{250}$  dose. Bioaccumulation indexes of cadmium and lead were at a low level.

## 1. WPROWADZENIE

Kadm i ołów należą do pierwiastków metalicznych, najbardziej toksycznych dla roślin i zwierząt [Gorlach 1991; Jamroz i in. 2001; Kabata-Pendias 1998, 2000; Kabata-Pendias i Pendias 2001]. W roślinach przeznaczonych na paszę monitorowanie zawartości metali ciężkich odgrywa istotną rolę, ponieważ nadmiar metali ciężkich w paszy wpływa ujemnie na stan zdrowia zwierząt, a także na wzrost i rozwój roślin.

Obecność w glebie metali ciężkich, w tym kadmu i ołowiu, może wpływać również na zmniejszenie produkcji białka, przez ograniczenie procesu biologicznej redukcji, wynikające ze zmniejszenia liczby bakterii z grupy *Rhizobium* [Boros i in. 2005; Trabelsi i in. 2009]. Tujaka i Terelak [2005] wykazali istotny wpływ gatunku i organu rośliny na pobieranie Cd i Pb oraz ich zawartość w roślinie.

Nadmierna zawartość kadmu w paszy może powodować u zwierząt ostre stany zapalne przewodu pokarmowego w wyniku powstawania chlorku kadmu, deformacje kości, odwapnienie, zanik wężu, mięśni, nowotwory i niewydolność krążenia. Ołów natomiast łączy się z białkami, utrudnia w budowywanie żelaza w hem, blokuje syntezę enzymów. Może kumulować się w tkance nerwowej i kościach, uszkadzać nerki i wzrok, a także powodować anemię [Jamroz i in. 2001].

Celem przedstawionych w tym opracowaniu badań było prześledzenie zmian w zawartości kadmu i ołowiu w biomacie rutwicy wschodniej i w glebie pod wpływem zróżni-

cowanego nawożenia fosforem i potasem, a następnie porównanie uzyskanych wyników z dopuszczalnymi normami żywienia zwierząt przez określenie współczynników bioakumulacji analizowanych metali ciężkich.

## 2. MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2005–2007 na plantacji założonej w 1997 r. na polach doświadczalnych należących do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach (52°17'N, 22°28'E). Gleba, na której uprawiano rutwicę, wytworzona była z piasku gliniastego (LS) i charakteryzował ją odczyn obojętny. Zasobność w przyswajalny fosfor i potas, oznaczoną metodą Egnera-Riehma, określono jako średnią. Całkowita zawartość kadmu i ołowiu w glebie, na której uprawiano rutwicę wschodnią (*Galega orientalis* Lam.), wynosiła odpowiednio 0,27 mg Cd·kg<sup>-1</sup> i 31,24 mg Pb·kg<sup>-1</sup>.

Badania przeprowadzono na następujących obiektach nawozowych:

- obiekt kontrolny

oraz

- obiekty nawożone dawkami P<sub>50</sub>; K<sub>100</sub>; P<sub>50</sub>K<sub>150</sub>; P<sub>50</sub>K<sub>200</sub>; P<sub>50</sub>K<sub>250</sub>.

Nawozy fosforowe w formie superfosfatu potrójnego stosowano jesienią, a potasowe w formie soli potasowej 60% stosowano w dwóch dawkach (wczesną wiosną i po I pokosie).

W każdym roku badań zbierano trzy pokosy rośliny testowej w fazie pąkowania (w maju, lipcu i wrześniu). Podczas zbioru kolejnych pokosów zielonej masy rutwicy wschodniej pobierano próby całych roślin rutwicy, które następnie suszono i rozdrabniano. Jesienią, w każdym roku badań, pobierano również próby glebowe.

Zawartość całkowitą kadmu i ołowiu w roślinie testowej i w glebie oznaczono po mineralizacji „na sucho” metodą ICP-AES, na spektrofotometrze emisyjnym z plazmą wzbudzaną indukcyjnie [Szczepaniak 2005]. Dane atmosferyczne w okresach wegetacyjnych w latach 2005–2007 przedstawiono w tabeli 1.

Średnia miesięczna temperatura w kolejnych okresach wegetacyjnych kształtowała się na zbliżonym poziomie (od 15,0°C do 15,8°C) i była znacznie wyższa w stosunku do danych z wielolecia. Temperatury odnotowane w czasie wegetacji sprzyjały procesowi biologicznej redukcji N<sub>2</sub> [Kalembasa i Symanowicz 2010]. Średnia suma opadów w okresie wegetacji była niższa w odniesieniu do sumy wieloletniej. Tylko w roku 2006 była nieznacznie wyższa (o 15,5 mm). Było to spowodowane dużą ilością opadów w sierpniu, przekraczającą trzykrotnie średnią z wielolecia.

Wyniki oznaczeń opracowano statystycznie, wykorzystując analizę wariancji trzyczynnikowej (ANOVA), a istotne różnice obliczono wykorzystując test Tukey'a przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Zależności pomiędzy zawartością kadmu i ołowiu w roślinie testowej i w glebie określono na podstawie współczynników korelacji prostej r Pearson'a (pakiet STATISTICA 9.1; StatSoft). Istotność stwierdzonych korelacji określono przez porówna-

nie wartości empirycznych z wartościami krytycznymi  $r$  przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Współczynniki bioakumulacji obliczono na podstawie zawartości kadmu i ołowiu w suchej masie rośliny testowej i form całkowitych tych metali w glebie.

**Tabela 1.** Warunki meteorologiczne w okresie prowadzenia badań latach 2005–2007. Dane z punktu pomiarowego w Siedlcach

**Table 1.** Meteorological conditions during the studies 2005–2007. Reported by the measurement centre in Siedlce

Lata	Miesiące						Średnia miesięczna
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Temperatura powietrza (°C)							
2005	8,6	13,0	15,9	20,2	17,5	15,0	15,0
2006	8,4	13,6	17,2	22,3	18,0	15,4	15,8
2007	8,3	14,5	18,2	18,5	18,6	13,1	15,2
Średnia w latach 1981–1995	7,7	10,0	16,1	19,3	18,0	13,0	11,4
Miesięczne sumy opadów (mm)							Suma
2005	12,3	64,7	44,4	86,5	45,4	15,8	268,8
2006	29,8	39,6	24,0	16,2	227,6	22,0	359,2
2007	21,2	59,1	59,9	70,2	31,1	67,6	309,1
Średnia w latach 1981–1995	52,3	50,0	68,2	45,7	66,8	60,7	343,7

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Średnia zawartość kadmu w suchej masie rutwicy wschodniej zbieranej w fazie pąkowania wynosiła  $0,37 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tab. 2) i była istotnie zróżnicowana pod wpływem badanych czynników oraz ich współdziałania.

**Tabela 2.** Zawartość kadmu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.) w biomase rutwicy wschodniej

**Table 2.** The content of cadmium ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  d.m.) in biomass of goat's rue

Obiekty nawozowe	Pokosy – wartości średnie z 3 lat			Średnie z 3 pokosów w latach			Średnia w latach 2005–2007
	I	II	III	2005	2006	2007	
0	0,72	0,69	0,26	1,02	0,45	0,20	0,56
P <sub>50</sub>	0,37	0,45	0,24	0,58	0,33	0,16	0,35
K <sub>100</sub>	0,30	0,43	0,29	0,34	0,44	0,24	0,34
P <sub>50</sub> K <sub>150</sub>	0,27	0,44	0,33	0,38	0,55	0,12	0,35
P <sub>50</sub> K <sub>200</sub>	0,42	0,37	0,39	0,43	0,57	0,18	0,39
P <sub>50</sub> K <sub>250</sub>	0,26	0,17	0,25	0,34	0,17	0,18	0,23
Średnia	0,39	0,43	0,30	0,51	0,42	0,18	0,37

**Objaśnienia:** NIR<sub>0,05</sub>: pokosy (P) – 0,04; lata (L) – 0,04; nawożenie (N) – 0,08; LxP – 0,08; PxL – 0,08; NxP – 0,10; P x N – 0,08; N x L – 0,13; L x N – 0,11.

Najmniejszą zawartość kadmu oznaczono w biomacie rośliny testowej zebranej w trzecim pokosie. W kolejnych latach badań oznaczano istotnie mniejsze zawartości kadmu.

Największą ilość kadmu oznaczono w roślinie testowej zebranej z obiektu kontrolnego, na którym uzyskano najmniejsze plony rutwicy wschodniej [Symanowicz i Kalembasa 2010]. Należy przypuszczać, że wystąpiła koncentracja tego pierwiastka w uzyskanym plonie. Kolejne wzrastające dawki potasu powodowały zmniejszenie zawartości kadmu w biomacie rutwicy wschodniej, co mogło wynikać z antagonizmu pomiędzy Cd i K, zwiększającymi się plonami rośliny testowej pod wpływem kolejnych dawek K i obojętnego oddziaływania gleby [Kabata-Pendias i Pendias 2001]. Uzyskane wyniki znalazły potwierdzenie w wcześniejszych badaniach Symanowicz i in. [2004], w których badano zmiany zawartości metali ciężkich w biomacie rutwicy wschodniej w zależności rodzaju infekcji nasion różnymi szczepami drobnoustrojów (sinice *Nostoc*, *Rhizobium gelegae*). W badaniach [Symanowicz 2005] z trawą życica wielokwiatową oznaczono od 0,27 do 0,32 mg Cd·kg<sup>-1</sup>s.m, co potwierdza tezy Kabaty-Pendias [2000] oraz Barana i Jasiewicz [2009] o mniejszym pobieraniu kadmu przez rośliny niemołykowate. Większą zawartość kadmu przedstawiono w pracy Kwiatkowskiej-Malina i Maciejewskiej [2009, 2011], w której badano wpływ materii organicznej na pobranie Cd przez rzodkiewkę, facelię, gorczyce i kapustę pekińską. Oznaczona zawartość kadmu w biomacie rutwicy wschodniej zebranej w kolejnych pokosach, latach uprawy i z obiektów nawożonych fosforem i potasem mieściła się w zakresie liczb granicznych dopuszczalnej zawartości pierwiastków śladowych w paszy [Anke 1987; Spiak i in. 2004; Underwood 1971], a według Gorlacha [1991] i Jamroz i in. [2001] była to zawartość w zakresie optymalnej.

Zawartość ołowiu oznaczona w roślinie testowej wynosiła średnio 2,71 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 3) i była istotnie zróżnicowana pod wpływem badanych czynników oraz ich współdziałania.

**Tabela 3.** Zawartość ołowiu (mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) w biomacie rutwicy wschodniej

**Table 3.** The content of lead (mg·kg<sup>-1</sup> d.m.) in biomass of goat's rue

Obiekty nawozowe	Pokosy – wartości średnie z 3 lat			Lata – średnie z 3 pokosów			Średnia w latach 2005–2007
	I	II	III	2005	2006	2007	
0	2,70	2,54	2,98	3,14	2,07	3,01	2,74
P <sub>50</sub>	3,27	3,24	2,69	3,28	1,70	4,22	3,07
K <sub>100</sub>	2,05	2,36	3,01	2,59	2,27	2,56	2,47
P <sub>50</sub> K <sub>150</sub>	2,84	2,66	2,43	3,45	2,03	2,45	2,64
P <sub>50</sub> K <sub>200</sub>	3,30	3,15	2,25	3,22	2,25	3,23	2,90
P <sub>50</sub> K <sub>250</sub>	2,61	2,57	2,15	2,50	2,10	2,73	2,44
Średnia	2,80	2,75	2,58	3,03	2,07	3,03	2,71

**Objaśnienia:** NIR<sub>0,05</sub>: pokosy (P) – 0,18; lata (L) – 0,18; nawożenie (N) – 0,32; LxP – 0,32; PxL – 0,32; NxP – 0,39; P x N – 0,32; N x L – 0,55; L x N – 0,45.

Największą zawartość ołowiu oznaczono w biomasie rośliny testowej zebranej w I pokosie (2,80 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.), a także w latach 2005 i 2007 (3,03 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.). Obliczenia statystyczne wykazały istotne różnice w zawartości ołowiu w biomasie roślin pomiędzy I i III pokosem rutwicy wschodniej oraz w latach 2005 i 2006 oraz 2006 i 2007.

Analizując zmiany zawartości ołowiu w rutwicy wschodniej spowodowane nawożeniem stwierdzono tylko istotne zwiększenie ołowiu pod wpływem nawożenia fosforem (P<sub>50</sub>). Oznaczone ilości ołowiu nie przekraczały dopuszczalnych zawartości tego pierwiastka jako szkodliwego lub toksycznego w paszach [Anke 1987; Gorlach 1991; Kabata-Pendias 1998, 2001]. Znacząco większe (o około 40%) ilości ołowiu oznaczono w życicy wielokwiatowej nawożonej osadami ściekowymi i odpadowymi węglami brunatnymi [Symanowicz 2005] oraz w gorczycy i kapuście pekińskiej [Kwiatkowska-Malina i Maciejewska 2011].

Całkowita zawartość kadmu w glebie z poziomu próchnicznego wynosiła średnio 0,38 mg·kg<sup>-1</sup> (tab. 4) i była istotnie zróżnicowana pod wpływem badanych czynników oraz ich współdziałania. W kolejnych latach prowadzenia doświadczenia zawartość kadmu w glebie istotnie się zmniejszała w odniesieniu do pierwszego roku badań (2005). W roku 2007 odnotowano spadek zawartości kadmu o 23% w stosunku do zawartości w roku 2005.

Rozpatrując wpływ nawożenia fosforowo-potasowego (PK) na zawartość kadmu (Cd) w glebie należy stwierdzić, że istotnie największą zawartość (0,48 mg·kg<sup>-1</sup>) w odniesieniu do obiektu kontrolnego oznaczono w glebie pochodzącej z obiektów nawozowych P<sub>50</sub> i P<sub>50</sub>K<sub>150</sub>. Uzyskane wyniki znalazły potwierdzenie w badaniach [Gorlacha i Gambusia 1996, 2000; Japony i Young 1994; Symanowicz 2009].

**Tabela 4.** Zawartość kadmu (mg·kg<sup>-1</sup>s.m.) w glebie

**Table 4.** The content of cadmium in soil (mg·kg<sup>-1</sup>d.m.)

Obiekty nawozowe	Lata			Średnia w latach 2005–2007
	2005	2006	2007	
0	0,27	0,31	0,38	0,32
P <sub>50</sub>	0,46	0,53	0,44	0,48
K <sub>100</sub>	0,58	0,36	0,31	0,42
P <sub>50</sub> K <sub>150</sub>	0,59	0,49	0,37	0,48
P <sub>50</sub> K <sub>200</sub>	0,40	0,28	0,33	0,34
P <sub>50</sub> K <sub>250</sub>	0,26	0,20	0,25	0,24
Średnia	0,43	0,36	0,35	0,38

**Objaśnienia:** NIR<sub>0,05</sub>: lata (L) – 0,06; nawożenie (N) – 0,10; N x L – 0,18; L x N – 0,14.

**Tabela 5.** Zawartość ołowiu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{s.m.}$ ) w glebie

**Table 5.** The content of lead in soil ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{d.m.}$ )

Obiekty nawozowe	Lata			Średnia w latach 2005-2007
	2005	2006	2007	
0	32,45	31,97	31,56	31,99
P <sub>50</sub>	41,60	42,54	26,94	37,03
K <sub>100</sub>	37,28	43,39	26,42	35,70
P <sub>50</sub> K <sub>150</sub>	38,96	39,08	26,74	34,93
P <sub>50</sub> K <sub>200</sub>	36,26	45,72	27,01	36,33
P <sub>50</sub> K <sub>250</sub>	39,63	43,35	40,86	41,28
Średnia	37,69	41,01	29,92	36,21

**Objaśnienia:** NIR<sub>0,05</sub>: lata (L) – 2,07; nawożenie (N) – 3,60; N x L – 6,23; L x N – 5,06.

Średnia całkowita zawartość ołowiu, którą oznaczono w glebie, wynosiła  $36,21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  i kształtowała się na wysokim poziomie (tab. 5). Badane czynniki oraz ich współdziałanie istotnie różnicowało tę zawartość. Analiza statystyczna wykazała istotnie największe ilości tego pierwiastka w glebie, pobranej po drugim roku badań ( $41,01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Pod wpływem nawożenia fosforowo-potasowego zawartość ołowiu systematycznie wzrastała i osiągnęła największą wartość ( $41,28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) pod wpływem nawożenia P<sub>50</sub>K<sub>250</sub>. Należy przypuszczać, że dodatkowy wpływ na oznaczoną zawartość ołowiu w poziomie próchnicznym gleby miały czynniki antropogeniczne istniejące w miejscu prowadzenia badań.

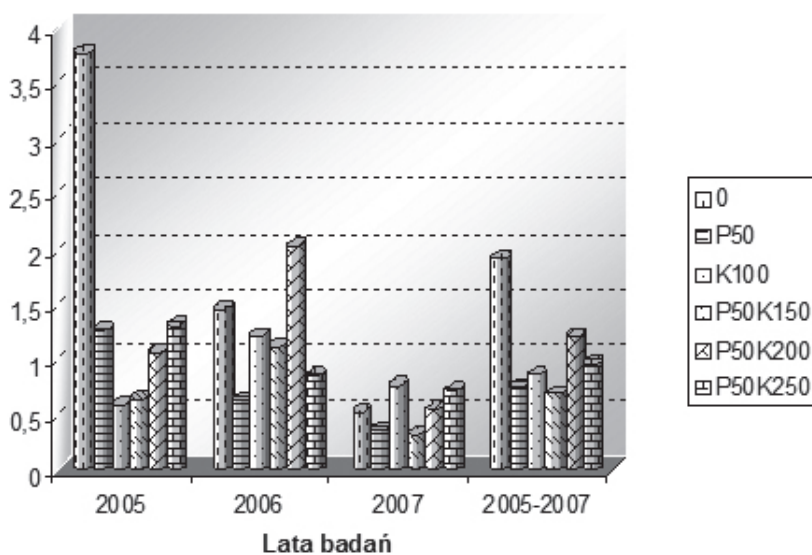
Według Kabaty-Pendias [1998] zawartość ołowiu w glebie w granicach 25–40  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  jest traktowana jako „tło geochemiczne”, ale średnia naturalna zawartość ołowiu w glebach Polski wynosi 18  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Wyniki uzyskane w badaniach własnych znalazły potwierdzenie w badaniach Kwiatkowskiej-Maliny i Maciejewskiej [2009, 2011]. Obliczone wartości współczynników korelacji wskazują na istotną ujemną zależność ( $-0,91^*$ ) pomiędzy zawartością ołowiu w glebie i kadmu w roślinie testowej.

Współczynniki bioakumulacji kadmu i ołowiu przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Średnia wartość współczynnika bioakumulacji kadmu kształtowała się na poziomie 0,96. Najmniejszą wartość tego współczynnika (0,69) obliczono dla obiektu nawożonego dawką P<sub>50</sub>K<sub>150</sub>. W kolejnych latach badań wartości współczynników bioakumulacji Cd ulegały zmniejszeniu ( $1,19 > 1,17 > 0,51$ ).

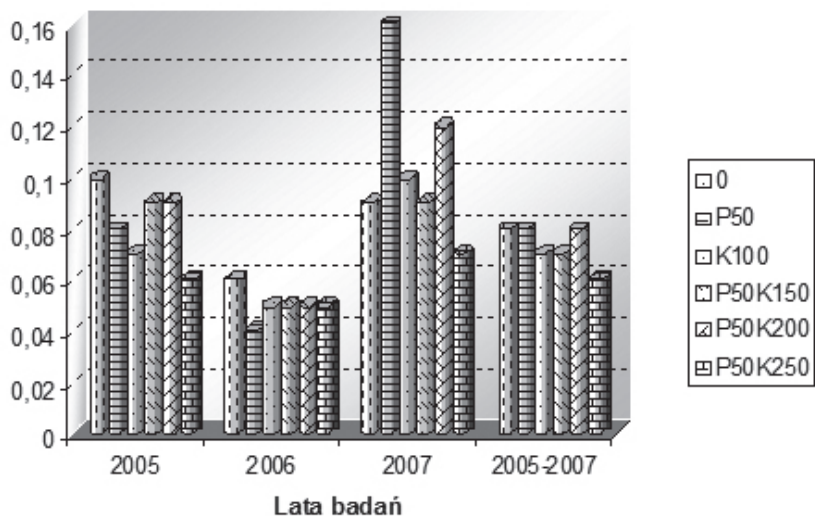
Obliczone współczynniki bioakumulacji ołowiu kształtowały się na poziomie 0,06–0,08 dla poszczególnych obiektów nawozowych i w przedziale 0,05 – 0,10 w kolejnych latach badań. Zbliżone wartości współczynników bioakumulacji kadmu i ołowiu dla gorczycy gorczycy i kapusty pekińskiej uzyskano w badaniach Kwiatkowskiej-Maliny i Maciejewskiej [2011] po zastosowaniu Rekultera w dawce  $720 \text{ g} \cdot \text{wazon}^{-1}$ . Obliczone wartości współczynników mieściły się w zakresie granicznych wartości, które dla Cd wynoszą od 1 do 10, a dla Pb od 0,01 do 0,1 [Kloke i in. 1984]. Obliczone wartości współczynników bioakumu-

lacji kadmu były istotnie skorelowane z zawartością Cd w roślinie (0,81'), a współczynniki bioakumulacji ołowiu z zawartością Pb w roślinie (0,85').



**Rys. 1.** Współczynniki bioakumulacji kadmu

**Fig. 1.** Bioaccumulation indexes of cadmium



**Rys. 2.** Współczynniki bioakumulacji ołowiu

**Fig. 2.** Bioaccumulation indexes of lead



#### 4. WNIOSKI

1. Nawożenie fosforowo - potasowe wpłynęło istotnie na zmniejszenie zawartości kadmu w biomacie rutwicy wschodniej, zastosowane nawozy fosforowe w dawce  $P_{50}$  spowodowały natomiast istotne zwiększenie zawartości ołowiu w roślinie testowej.
2. Oznaczona zawartość kadmu i ołowiu w biomacie rutwicy wschodniej mieściła się poniżej zakresu liczb granicznych określających dopuszczalne ilości tych pierwiastków w paszy.
3. Najwięcej kadmu oznaczono w glebie nawożonej dawką  $P_{50}$  i  $P_{50}K_{150}$ , a ołowiu dawką  $P_{50}K_{250}$ .
4. Współczynniki bioakumulacji kadmu i ołowiu kształtowały się na niskim poziomie.

#### PIŚMIENNICTWO

- ANKE M. 1987. Kolloquien des Instituts für Pflanzenernährung. Jena 2: 110–111.
- BARAN A., JASIEWICZ CZ. 2009. Toksyjna zawartość cynku i kadmu w glebie dla różnych gatunków roślin. Ochr. Środ. Zasob. Nat. 40: 157–164.
- BROOS K., BEYENS H., SMOLDERS E. 2005. Survival of rhizobia in soil is sensitive to elevated zinc in the absence of the host plant. Soil Biology & Biochemistry 37: 573–579.
- GORLACH E. 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. 34 (262): 13–22.
- GORLACH E., GAMBUŚ F. 1996. Badania nad możliwością ograniczenia pobierania kadmu przez rośliny z gleb zanieczyszczonych tym metalem. Roczn. Glebozn. 47(3/4): 31–39.
- GORLACH E., GAMBUŚ F. 2000. Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 472: 275–296.
- JAMROZ D., BURACZEWSKI S., KAMIŃSKI J. 2001. Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo. Cz. 1 Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa: 437.
- JAPONY M., YOUNG S.D. 1994. The solid-solution equilibration of lead and cadmium in polluted soils. E. J. Soil Sci. 45: 59–70.
- KABATA-PENDIAS A. 1998. Biogeochemia ołowiu. Zesz. Nauk. Kom. PAN Człowiek i środowisko 21: 9–17.
- KABATA-PENDIAS A. 2000. Biogeochemia kadmu. Zesz. Nauk. Kom. PAN Człowiek i środowisko 33: 11–18.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 2001. Trace elements in soils and plants. (3 rd Ed.) CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 413.
- KALEMBASA S., SYMANOWICZ B. 2010. Quantitative abilities of biological nitrogen reduction for *Rhizobium galegae* cultures by goat's rue. Ecol. Chem. Engin. A. 17(7): 757–764.

- KLOKE A., SAUERBECK D.R., VETTER H. 1984. Changing Metal Cycles and Human Health. Springer – Verlag, Berlin, (red. J.O.Nriagu).
- KWIATKOWSKA-MALINA J., MACIEJEWSKA A. 2009. Wpływ materii organicznej na pobieranie metali ciężkich przez rzodkiewkę i facelię. Ochr. Środ. Zasob. Nat. 40: 217–223.
- KWIATKOWSKA-MALINA J., MACIEJEWSKA A. 2011. Pobieranie metali ciężkich w warunkach zróżnicowanego odczynu gleb i zawartości materii organicznej. Ochr. Środ. Zasob. Nat. 49: 43–51.
- SPIAK Z., ROMANOWSKA M., RADOŁA J. 2004. Trace metals content in plants from ecological and conventional cultivation systems. Chemistry for Agriculture 5: 181–186.
- SYMANOWICZ B. 2005. Wpływ węgla brunatnych, osadów ściekowych oraz ich mieszanin i obornika na zawartość kadmu i ołowiu w podłożu glebowym i życicy wielokwiatowej (*Lolium multiflorum* Lam.). Acta Sci. Pol. Agricult. 4(2): 83–92.
- SYMANOWICZ B., APPEL Th., KALEMBASA S. 2004. „Goat's rue” (*Galega orientalis* Lam.) a plant with multi-directional possibilities of use for agriculture. Part III. The influence of the infection of *Galega orientalis* seeds on the content of trace elements Polish J. Soil Sci. XXXVII(1): 11–20.
- SYMANOWICZ B., KALEMBASA S. 2010. Wpływ nawożenia fosforowo-potasowego na plon i zawartość makroelementów w biomacie rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.). Fragm. Agron. 27(1): 177–185.
- SZCZEPANIAK W. 2005. Metody instrumentalne w analizie chemicznej. PWN. Warszawa: 165–168.
- TRABELSI D., PINI F., AOUANI M.E., BAZZICALUPO M., MENGONI A. 2009. Development of real-time PCR assay for detection and quantification of *Sinorhizobium meliloti* in soil and plant tissue. Letters in Applied Microbiology 48: 355–361.
- TUJAKA A., TERELAK H. 2005. Wpływ rekultera na skład chemiczny, plonowanie i przydatność roślin uprawianych na glebach zanieczyszczonych Cd, Pb i Zn. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 506: 497–505.
- UNDERWOOD 1971. Żywnienie mineralne zwierząt. PWRi L. Warszawa: 282.