

Elżbieta Malinowska, Stanisław Kalembasa

## **WPLYW DAWEK OSADU ŚCIEKOWEGO ORAZ WAPNOWANIA NA ZAWARTOŚĆ Li, Ti, Ba, Sr i As W ROŚLINACH TESTOWYCH**

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu osadu ściekowego zastosowanego w dawce 10, 20 i 30% św.m. w stosunku do masy gleby w wazonie i wapnowania na ogólną zawartość Li, Ti, Ba, Sr i As w roślinach testowych: życicy wielokwiatowej, słoneczniku i kukurydzy. Nawożenie osadem ściekowym istotnie różnicowało zawartość ogólną badanych pierwiastków w uprawianych roślinach. Największą bioakumulację Li i Sr stwierdzono w słoneczniku pastewnym, Ba i Ti w życicy wielokwiatowej, a As w kukurydzy. Wapnowanie gleby istotnie zmniejszyło ogólną zawartość badanych pierwiastków śladowych, za wyjątkiem Ba, średnio we wszystkich uprawianych roślinach.

**Słowa kluczowe:** osad ściekowy, wapnowanie, Li, Ti, Ba, Sr, As, rośliny testowe.

### **WSTĘP**

Potrzeba wzbogacenia gleb w materię organiczną oraz konieczność ochrony środowiska wpłynęły na zainteresowanie możliwościami włączenia do bilansu nawożenia organicznego substancji odpadowych pochodzenia biologicznego [2-4, 9, 13]. Pomimo wielu przeprowadzonych eksperymentów, zagadnienie wykorzystania osadów ściekowych w rolnictwie wymaga dalszych badań, szczególnie pełniejszego rozpoznania bioprzyswajalności pierwiastków śladowych. Zakwaszenie gleb określane jest jako główny czynnik powodujący uwalnianie metali ciężkich i pierwiastków toksycznych dla roślin [1, 11]. Wapnowanie zmienia chemiczne i fizyczne właściwości gleb, utrzymuje korzystną strukturę oraz optymalny układ powietrzno-wodny.

Celem pracy było określenie wpływu dawek osadu ściekowego i wapnowania na ogólną zawartość Li, Ti, Ba, Sr i As w życicy wielokwiatowej, kukurydzy i słoneczniku pastewnym, w czteroletnim doświadczeniu wazonowym.

### **MATERIAŁ I METODY BADAŃ**

Doświadczenie wazonowe prowadzono przez cztery sezony wegetacyjne w latach 2001-2004, w obiekcie szklarniowym. Eksperyment założono w trzech powtórzeniach, w układzie całkowicie losowym. Wazony napełniono 10 kg gleby

---

Elżbieta MALINOWSKA, Stanisław KALEMBASA – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, tel. (025)6431287, e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

pobranej z poziomu próchnicznego, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego pylastego (według PTG), o wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,19$ . Zawartość węgla w związkach organicznych wynosiła  $30,5 \text{ g kg}^{-1}$ , zawartość ogólna wybranych pierwiastków śladowych ( $\text{mg kg}^{-1}$  gleby): Li – 1,70; Ti – 49,42; Ba – 22,18; Sr – 29,06; As – 2,05. Ogólna zawartość metali ciężkich w glebie, przed założeniem doświadczenia, była niższa od ilości podanych w Rozp. Min. Środow. [12] dla gleb lekkich przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych.

Glebę przed napełnieniem wazonów, przesiano przez sito o średnicy oczek 2 cm, podzielono na dwie części, z których jedną zwapnowano  $\text{CaCO}_3$  według  $\text{Hh} = 1$  i pozostawiono na okres 1 miesiąca, doprowadzając do wilgotności 50-60% maksymalnej pojemności wodnej. Tak przygotowaną glebą napełniono wazon, uzyskując w ten sposób dwie serie, tj. bez wapnowania (gleba nie wapnowana) i z wapnowaniem (gleba wapnowana). Następnie do wazonów wprowadzono świeży osad ściekowy z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych w Siedlcach, w ilości 10, 20 i 30% w stosunku do masy gleby i dokładnie wymieszano. W osadzie tym zawartość metali ciężkich i wybranych pierwiastków wynosiła ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Pb – 44,7; Cd – 1,97; Cr – 20,9; Cu – 101; Ni – 52,7; Zn – 1260; Li – 8,70; Ti – 52,3; Ba – 32,1; Sr – 47,8; As – 9,40.

W doświadczeniu wydzielono dwa obiekty kontrolne: bez nawożenia osadem ściekowym i bez wapnowania oraz bez nawożenia osadem, ale z dodatkiem  $\text{CaCO}_3$ . Osad ściekowy zastosowano jednorazowo na 10 dni przed siewem nasion życicy wielokwiatowej (w I roku doświadczenia). W czasie prowadzenia eksperymentu utrzymywano wilgotność gleby, na poziomie 50-60% maksymalnej pojemności wodnej.

Roślinami testowymi była w I roku życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* Lam.) odmiany KROTO, której odrosty (pokosy) zbierano w odstępach 30-dniowych; w II i III roku - kukurydza odmiany Nimba, którą zbierano po 75 dniach wegetacji oraz słonecznik pastewny wysiany po zbiorze kukurydzy (w te same wazon) i zbierany po 70 dniach wegetacji, w IV roku życica wielokwiatowa była zbierana tak jak w I roku. Do każdego wazonu wysiano po 1 g trawy, a w następnym roku po 5 nasion kukurydzy lub słonecznika, z których po wschodach pozostawiono trzy rośliny w wazonie (kukurydzy lub słonecznika).

Wprowadzenie różnych gatunków roślin miało umożliwić zbadanie i porównanie bioakumulacji wybranych pierwiastków w roślinach jedno- i dwuliściennych, w czteroletnim eksperymencie. Materiał roślinny suchy zmielono do średnicy cząstek  $< 0,25 \text{ mm}$  i odważono 1 g do tygielka porcelitowego, po czym utleniono substancję organiczną „na sucho” w temperaturze  $450^\circ\text{C}$ , w piecu mufowym. Popiół surowy w tyglu zalano 10 ml rozcieńczonego HCl (1:1) i odparowano na łaźni piaskowej do sucha w celu rozłożenia węglanów i wydzielenia krzemionki. Zawartość tygla, po dodaniu 5 ml 10% HCl, przeniesiono przez twardy sącdek do kolby miarowej o pojemności 100 ml i uzupełniono do kreski wodą destylowaną. Zawartość ogólną Li, Ti, Ba, Sr i As w tak uzyskanym roztworze oznaczono na spektrometrze emisyjnym z indukcyjnie wzbudzoną plazmą, ICP – AES, firmy Perkin-Elmer.

Otrzymane wyniki opracowano statystycznie; różnice między średnimi oceniono stosując analizę wariancji (do obliczeń użyto programu FR Analvar 3.2), a w przypadku istotności różnic, wartość  $NIR_{0,05}$  obliczono wg testu Tukey'a.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Stwierdzono zróżnicowaną zawartość litu w roślinach testowych, tj. życicy wielokwiatowej, kukurydzy i słoneczniku pastewnym, w zależności od nawożenia oraz wapnowania gleby (tab. 1). Zawartość litu w niektórych roślinach była większa na obiekcie kontrolnym, niż nawożonych osadem ściekowym, co wynikało z wysokich różnic w plonowaniu tych roślin, a tym samym koncentracji w plonie suchej masy (dane nie publikowane).

W czteroletnim eksperymencie zawartość tego pierwiastka wahała się od  $5,78 \text{ mg kg}^{-1}$  w suchej masie kukurydzy do  $63,10 \text{ mg kg}^{-1}$  w suchej masie życicy wielokwiatowej. Zbliżoną zawartość litu w życicy nawożonej osadem ściekowym podają Symanowicz, Kalembasa [14]. Największą bioakumulację litu stwierdzono w słoneczniku pastewnym, następnie życicy wielokwiatowej i kukurydzy. W I roku badań zawartość litu w życicy oraz w II roku w kukurydzy była znacznie większa na glebie wapnowanej, niż bez wapnowania. W kolejnych latach eksperymentu stwierdzono mniejszą zawartość badanego pierwiastka w roślinach uprawianych na glebie wapnowanej, w porównaniu z glebą bez wapnowania.

Największą zawartość tytanu stwierdzono w życicy wielokwiatowej, w I roku doświadczenia (tab. 2). Średnio kilkakrotnie większą, niż w kukurydzy i słoneczniku oraz prawie 2-krotnie większą, niż w życicy w IV roku badań. W roślinach z obiektu kontrolnego zanotowano przeważnie więcej tego pierwiastka, niż w nawożonych osadem ściekowym. Wapnowanie gleby spowodowało istotne zmniejszenie bioakumulacji tytanu we wszystkich uprawianych roślinach, za wyjątkiem I roku eksperymentu, w życicy wielokwiatowej.

Nawożenie istotnie zróżnicowało zawartość baru w roślinach testowych użytych w doświadczeniu (tab. 3). Największą koncentrację tego pierwiastka stwierdzono w I roku badań, w życicy wielokwiatowej, średnio 2-krotnie większą niż w kukurydzy, znacznie większą niż w słoneczniku pastewnym, w II i III roku uprawy oraz w życicy, uprawianej w IV roku. Według Kabaty-Pendias, Pendias [5] stężenie baru w roślinach kształtuje się najczęściej w granicach  $10\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$ , w uzyskanych badaniach średnia zawartość tego pierwiastka nie przekraczała  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ . Wraz z dawką osadu ściekowego zmniejszała się zawartość baru, ponieważ nastąpiło rozcieńczenie z plonem badanych roślin. Wapnowanie gleby spowodowało istotne zmiany w zawartości baru w omawianych roślinach, za wyjątkiem I roku doświadczenia. Stwierdzono średnio przeważnie większą zawartość tego pierwiastka w roślinach uprawianych na glebie wapnowanej, niż bez wapnowania.

Zawartość strontu w analizowanych roślinach była największa na obiekcie nie nawożonym i zmniejszała się wraz z dawką osadu ściekowego, podobnie jak w przypadku baru i tytanu (tab. 4).

**Tabela 1.** Zawartość Li (mg kg<sup>-1</sup>) w roślinach testowych, w czteroletnim doświadczeniu wazonowym

**Table 1.** The content of Li (mg kg<sup>-1</sup> DM) in the test plants in four-years in the pot experiment

Nawożenie Fertilization	I rok; first year				II rok; second year		III rok; third year		IV rok; fourth year					
	żylica wielokwiatowa Italian ryegrass				średnia mean	kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukurydza maize	słonecznik sunflower	żylica wielokwiatowa Italian ryegrass				
	I pokos; I cut	II pokos; II cut	III pokos; III cut	IV pokos; IV cut						I pokos; I cut	II pokos; II cut	III pokos; III cut	IV pokos; IV cut	
obъекt kontrolny; control object	21,6	11,3	11,4	22,3	16,6	6,34	28,9	25,5	24,1	36,5	17,9	21,7	22,1	24,6
10%*	24,3	19,5	14,8	18,6	19,3	13,0	60,1	21,6	52,4	45,2	22,1	33,7	30,1	32,8
20%	20,4	16,8	11,7	37,2	21,5	6,5	55,8	16,1	52,0	63,1	15,8	27,6	24,4	35,2
30%	19,5	11,5	12,6	27,9	17,9	4,79	49,3	23,7	49,8	48,8	34,4	26,4	25,1	33,7
średnia; mean	21,5	14,8	12,6	26,5	18,8	7,67	48,5	21,7	44,6	48,4	25,1	27,5	25,4	31,6
	gleba bez wapnowania; soil no liming													
	gleba wapnowana; soil liming													
obъекt kontrolny; control object	25,1	15,4	11,8	48,4	25,2	17,2	13,5	29,4	21,0	40,7	20,7	20,2	20,0	25,4
10%	25,4	19,7	16,1	33,2	23,6	23,3	14,8	22,6	26,9	47,5	20,8	25,1	24,1	29,4
20%	27,0	15,6	14,9	38,7	24,1	8,79	48,6	11,6	41,1	39,4	17,8	24,5	23,2	26,2
30%	24,7	18,3	15,3	25,5	20,9	6,21	37,9	5,78	45,3	32,2	19,9	20,0	21,0	23,3
średnia; mean	25,6	17,3	14,5	36,5	23,5	11,1	28,7	17,4	33,6	39,9	19,8	22,5	22,1	26,1
NIR <sub>0,05</sub> **	A - 0,16				A - 0,35				A - 0,16				A - 0,18	
LSD <sub>0,05</sub>	B - 0,08				B - 0,18				B - 0,08				B - 0,09	
	A/B - 0,22				A/B - 1,33				A/B - 0,23				A/B - 0,24	
	B/A - 0,16				B/A - 0,35				B/A - 0,17				B/A - 0,17	

\* 10%, 20%, 30% świeżego osadu ściekowego w stosunku do masy gleby; 10%, 20%, 30% of sewage sludge to the dry mass of soil

\*\* NIR<sub>0,05</sub> dla: A – nawożenie; fertilization; B – wapnowanie; liming; A/B – interakcja; interaction; B/A – interakcja; interaction

**Tabela 2.** Zawartość Ti (mg kg<sup>-1</sup>) w roślinach testowych, w czteroletnim doświadczeniu wazonowym**Table 2.** The content of titanium (mg kg<sup>-1</sup> DM) in the test plants in four-years in the pot experiment

Nawożenie Fertilization	I rok; first year				II rok; second year		III rok; third year		IV rok; fourth year					
	życica wielokwiatowa; Italian ryegrass				kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukurydza maize	słonecznik sunflower	życica wielokwiatowa; Italian ryegrass					
	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut					I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut		
średnia mean	19,8	17,8	11,7	14,3	15,9	2,92	6,01	3,14	5,25	5,83	7,87	12,3	7,25	8,31
obiett kontrolny control object	22,9	18,9	11,1	10,4	15,8	1,08	2,32	2,44	2,25	5,32	4,09	12,5	8,29	7,55
10%*	21,6	11,6	9,18	8,81	12,8	1,10	1,49	2,45	1,40	11,6	4,48	9,49	6,42	8,00
20%*	18,0	13,2	9,87	11,4	13,1	1,06	1,10	2,36	1,21	9,12	4,18	7,17	7,20	6,92
30%*	20,6	15,4	10,5	11,2	14,4	1,54	2,73	2,60	2,53	7,97	5,16	10,4	7,29	7,70
średnia; mean	gleba bez wapnowania; soil no liming													
obiett kontrolny control object	gleba wapnowana; soil liming													
10%*	18,5	36,1	29,9	26,2	27,7	2,54	5,20	4,27	4,07	6,33	6,90	6,95	6,25	6,61
20%*	15,5	19,5	12,2	12,5	14,9	1,19	1,32	2,79	2,09	4,36	5,22	3,97	4,01	4,39
30%*	23,4	14,3	11,7	9,62	14,8	0,83	2,01	0,78	0,94	8,45	7,07	6,89	6,83	7,31
średnia; mean	16,0	12,7	8,83	9,22	11,7	0,92	0,80	0,93	0,84	14,1	4,52	3,21	3,20	6,25
NIR <sub>0,05</sub> ** LSD <sub>0,05</sub>	18,4	20,6	15,7	14,4	17,3	1,37	2,33	2,19	1,99	8,30	5,93	5,26	5,07	6,14
	A - 0,14 B - 0,07 A/B - 0,19 B/A - 0,14				A - 0,16 B - 0,08 A/B - 0,22 B/A - 0,16		A - 0,09 B - 0,05 A/B - 0,13 B/A - 0,09		A - 0,16 B - 0,08 A/B - 0,23 B/A - 0,16		A - 0,09 B - 0,04 A/B - 0,12 B/A - 0,09			

\* 10%, 20%, 30% świeżego osadu ściekowego w stosunku do masy gleby; 10%, 20%, 30% of sewage sludge to the dry mass of soil

\*\* NIR<sub>0,05</sub> dla: A – nawożenie; fertilization; B – wapnowanie; liming; A/B – interakcja; interaction; B/A – interakcja; interaction

**Tabela 3.** Zawartość Ba ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) w roślinach testowych, w czteroletnim doświadczeniu wazonowym  
**Table 3.** The content of Ba ( $\text{mg kg}^{-1}$  DM) in the test plants in four-years in the pot experiment

Nawożenie Fertilization	I rok; first year				II rok; second year		III rok; third year		IV rok; fourth year					
	żyteja wielokwiatowa; Italian ryegrass				kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukurydza maize	słonecznik sunflower	żyteja wielokwiatowa; Italian ryegrass					
	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut					I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut		
średnia mean	12,9	12,0	10,4	11,3	11,6	4,63	7,19	3,19	6,50	5,01	8,38	10,3	9,25	8,25
obiett kontrolny control object	8,29	9,04	8,45	8,21	8,50	4,08	4,20	4,56	4,01	4,94	4,87	7,18	6,98	5,99
10%*	8,43	8,98	8,01	7,82	8,31	5,24	3,76	4,00	4,00	7,44	4,17	8,35	7,29	6,81
20%	7,45	7,02	7,56	6,29	7,08	3,17	3,56	3,92	3,82	5,39	5,05	3,97	4,02	4,61
30%	9,26	9,27	8,61	8,39	8,88	4,28	4,68	3,92	4,58	5,70	5,62	7,46	6,89	6,42
średnia; mean	gleba bez wapnowania; soil no liming													
obiett kontrolny control object	gleba wapnowana; soil liming													
10%	11,1	12,8	12,1	13,1	12,2	3,25	8,35	4,83	7,05	8,06	9,13	11,7	10,0	9,72
20%	9,02	8,29	9,01	9,00	8,83	2,76	3,86	5,28	4,02	4,31	5,98	6,53	7,01	5,96
30%	8,25	7,28	8,21	7,25	7,75	4,02	10,3	4,41	8,90	6,15	4,38	5,05	6,05	5,41
średnia; mean	7,04	6,29	7,35	7,06	6,94	4,18	3,71	3,99	4,03	7,46	6,23	3,82	4,25	5,44
NIR <sub>0,05</sub> **	8,84	8,67	9,16	9,09	8,94	3,55	6,56	4,63	6,00	6,50	6,43	6,77	6,83	6,63
LSD <sub>0,05</sub>	A - 0,18				A - 0,10				A - 0,42		A - 0,05		A - 0,18	
	B - n.i./n.s***				B - 0,05				B - 0,21		B - 0,03		B - 0,04	
	A/B - 0,25				A/B - 0,13				A/B - 0,59		A/B - 0,07		A/B - 0,12	
	B/A - 0,18				B/A - 0,10				B/A - 0,43		B/A - 0,05		B/A - 0,08	

\* 10%, 20%, 30% świeżego osadu ściekowego w stosunku do masy gleby; 10%, 20%, 30% of sewage sludge to the dry mass of soil

\*\* NIR<sub>0,05</sub> dla: A – nawożenie; fertilization; B – wapnowanie; liming; A/B – interakcja; interaction

\*\*\* n.i./n.s. – różnica nieistotna / not significant difference

**Tabela 4.** Zawartość Sr ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) w roślinach testowych, w czteroletnim doświadczeniu wazonowym**Table 4.** The content of Sr ( $\text{mg kg}^{-1}$  DM) in the test plants in four-years in the pot experiment

Nawożenie Fertilization	I rok; first year				II rok; second year		III rok; third year		IV rok; fourth year				
	żyźnica wielkowiełkowiata Italian ryegrass				kukurydza maize	słonecznik sunflower	kukurydza maize	słonecznik sunflower	żyźnica wielkowiełkowiata Italian ryegrass				
	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut					I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut	średnia mean
obъект kontrolny control object	28,0	28,6	30,0	31,1	10,2	42,2	10,7	40,1	23,1	36,7	33,7	30,8	31,1
10%*	20,1	21,4	20,1	25,4	6,23	24,9	12,1	25,3	17,3	24,0	21,7	22,1	21,3
20%	21,1	19,5	20,4	20,9	5,34	19,4	8,17	19,7	18,1	24,4	20,4	21,3	21,0
30%	21,0	19,5	19,4	20,0	4,52	14,3	8,47	16,4	13,9	18,7	18,2	20,0	17,7
średnia; mean	22,5	22,3	22,5	24,4	6,57	25,2	9,86	25,4	18,1	26,0	23,5	23,6	22,8
gleba bez wapnowania; soil no liming													
obъект kontrolny control object	27,3	27,0	29,5	30,0	6,72	42,0	9,42	40,0	20,5	36,5	35,5	33,1	31,4
10%	19,8	20,5	20,2	21,3	5,43	23,8	9,79	21,3	17,1	26,4	24,5	24,1	23,0
20%	20,0	21,4	21,0	20,0	4,70	16,8	8,47	17,2	15,0	21,4	19,3	19,0	18,7
30%	18,1	19,5	21,1	19,3	6,27	15,3	6,48	15,3	15,1	22,9	18,7	19,4	19,0
średnia; mean	21,3	22,1	22,9	22,6	5,78	24,5	8,54	23,4	16,9	26,8	24,5	23,9	23,0
NIR <sub>0,05</sub> **	A - 1,14 B - 0,58				A - 0,18 B - 0,09	A - 0,66 B - 0,33	A - 0,12 B - 0,60	A - 0,62 B - 0,31	A - 0,13 B - 0,07				
LSD <sub>0,05</sub>	A/B - 1,61 B/A - 1,16				A/B - 0,25 B/A - 0,18	A/B - 0,93 B/A - 0,67	A/B - 0,17 B/A - 0,12	A/B - 0,88 B/A - 0,64	A/B - 0,18 B/A - 0,13				

\* 10%, 20%, 30% świeżego osadu ściekowego w stosunku do masy gleby; 10%, 20%, 30% of sewage sludge to the dry mass of soil

\*\* NIR<sub>0,05</sub> dla: LSD<sub>0,05</sub> for: A – nawożenie; fertilization; B – wapnowanie; liming; A/B – interakcja; interaction; B/A – interakcja; interaction

**Tabela 5.** Zawartość As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) w roślinach testowych, w czteroletnim doświadczeniu wazonowym

**Table 5.** The content of As ( $\text{mg kg}^{-1}$  DM) in the test plants in four-years in the pot experiment

Nawożenie Fertilization	I rok; first year				II rok; second year		III rok; third year		IV rok; fourth year							
	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut	średnia mean	kukurydza; maize	słonecznik sunflower	słonecznik sunflower	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut	średnia mean			
														gleba bez wapnowania; soil no liming		
obiekt kontrolny control object	1,88	1,41	1,06	1,69	1,51	1,27	1,62	0,93	1,52	1,16	0,36	0,25	0,58			
10%*	1,05	1,09	1,08	1,52	1,19	1,29	1,84	1,55	1,40	1,70	0,39	0,25	0,63			
20%	1,21	1,25	1,04	1,40	1,23	2,27	2,23	1,39	1,60	1,72	0,50	0,18	0,64			
30%	1,04	1,20	1,19	1,05	1,12	1,07	1,58	1,36	1,51	1,52	0,69	0,13	0,61			
średnia; mean	1,30	1,24	1,09	1,42	1,26	1,48	1,82	1,32	1,51	1,53	0,53	0,23	0,62			
	gleba wapnowana; soil liming															
obiekt kontrolny control object	1,53	1,25	1,04	1,20	1,26	1,34	1,45	1,98	1,35	1,89	0,24	0,36	0,67			
10%	1,21	1,10	1,09	1,18	1,15	2,09	0,80	0,71	0,93	1,70	0,81	0,24	0,73			
20%	1,09	1,08	1,12	1,14	1,08	2,40	0,64	0,86	0,85	1,74	0,54	0,21	0,66			
30%	1,11	1,06	1,11	1,10	1,10	1,82	1,48	1,81	0,96	0,90	0,15	0,18	0,34			
średnia; mean	1,24	1,12	1,09	1,16	1,15	1,91	1,09	1,34	1,02	1,56	0,44	0,25	0,60			
NIR <sub>0,05</sub> ** LSD <sub>0,05</sub>	A - 0,07 B - 0,04 A/B - 0,10 B/A - 0,07				A - 0,13 B - 0,07 A/B - 0,18 B/A - 0,13				A - 0,03 B - 0,02 A/B - 0,05 B/A - 0,03				A - 0,17 B - 0,09 A/B - 0,24 B/A - 0,18			

\* 10%, 20%, 30% świeżego osadu ściekowego w stosunku do masy gleby; 10%, 20%, 30% of sewage sludge to the dry mass of soil

\*\* NIR<sub>0,05</sub> dla; LSD<sub>0,05</sub> for: A – nawożenie; fertilization; B – wapnowanie; liming; A/B – interakcja; interaction; B/A – interakcja; interaction



Największą bioakumulację strontu stwierdzono w słoneczniku pastewnym, obu latach badań, prawie 3-krotnie większą niż w kukurydzy oraz nieco większą niż w życicy wielokwiatowej. Wapnowanie gleby istotnie różnicowało zawartość analizowanego pierwiastka w roślinach testowych. Większą średnio zawartość strontu zanotowano w roślinach uprawianych na glebie bez wapnowania, w porównaniu z glebą wapnowaną, w trzech kolejnych latach badań. W IV roku stwierdzono średnio nieco większą zawartość strontu w życicy na glebie wapnowanej. Według Migaszewskiego i Gałuszki [10] zawartość strontu w roślinach uprawnych wynosi od 0,5 do 220 mg kg<sup>-1</sup>, w przeprowadzonych badaniach uzyskano od 4,70 do 42,20 mg kg<sup>-1</sup> s.m. roślin.

Zawartość arsenu w ciągu czterech lat doświadczenia mieściła się w przedziale liczbowym od 0,111 mg kg<sup>-1</sup> w suchej masie życicy, w IV roku do badań do 2,27 mg kg<sup>-1</sup> w suchej masie kukurydzy w II roku badań. Zawartość tego pierwiastka (średnio z obiektów nawozowych) w roślinach uprawianych, w trzech kolejnych latach była na zbliżonym poziomie, w IV roku w życicy zmniejszyła się 2-krotnie. Nawożenie i wapnowanie istotnie różnicowało zawartość arsenu w roślinach testowych. Stwierdzono większą zawartość omawianego pierwiastka średnio z czterech lat badań w roślinach uprawianych na glebie bez wapnowania, niż na glebie wapnowanej, odpowiednio 1,33 i 1,18 mg kg<sup>-1</sup>.

Kabata-Pendias, Szeke [6], Kalembasa i in. [8], Kalembasa, Jaremko [7] podają, że źródłem pierwiastków śladowych w glebie, a tym samym w roślinie są odpadowe materiały organiczne, a głównie osady ściekowe. Stwierdzono w nich podwyższone zawartości pierwiastków, których biochemiczne właściwości są mało poznane. Są to głównie Ba, Sr, Rh, Sn, Te, Pd, Pt oraz lantanowce. Oddziaływanie tych pierwiastków na równowagę procesów biochemicznych oraz na toksykologiczne właściwości środowiska powinny być przedmiotem dalszych badań naukowych.

## WNIOSKI

1. Dawki świeżego osadu ściekowego zastosowane w nawożeniu roślin testowych: życicy wielokwiatowej, kukurydzy i słoneczniku pastewnym nie spowodowały nadmiernej bioakumulacji Li, Ti, Ba, Sr i As w czteroletnim doświadczeniu wazonowym.
2. Wapnowanie gleby istotnie zmniejszyło ogólną zawartość badanych pierwiastków, za wyjątkiem Ba, średnio we wszystkich uprawianych roślinach.
3. Nawożenie osadem ściekowym istotnie różnicowało ilość badanych pierwiastków śladowych w częściach nadziemnych roślin testowych. Rośliny uprawiane w doświadczeniu można uszeregować następująco pod względem bioakumulacji tych pierwiastków:  
Li: słonecznik > życica wielokwiatowa > kukurydza;  
Ti: życica wielokwiatowa > słonecznik > kukurydza;  
Ba: życica wielokwiatowa > słonecznik > kukurydza;  
Sr: słonecznik > życica wielokwiatowa > kukurydza;  
As: kukurydza > słonecznik = życica wielokwiatowa.

## LITERATURA

1. Badora A. 2002. Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 482: 21-36.
2. Baran S. 1995. Przemieszczanie się metali ciężkich do roślin w warunkach nawożenia gleb osadami ściekowymi. [W:] *Chemia i Inż. Ekolog.*, 2/1: 23-35.
3. Deiana S., Gessa C., Manunza B., Rausa R., Seeber R. 1990. Analytical and spectroscopic characterization of humic acid extracted from sewage sludge, manure and worm compost. *Soil Sci.*, 150, (1): 419-424.
4. Gworek B., Giercuskiewicz – Bajtlik M. 2004. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych w aspekcie ochrony gleb i wód w aktach prawnych Unii Europejskiej i Polski. *Rocz. Glebozn.*, 41,1/2: 87-99.
5. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
6. Kabata-Pendias A., Szteke B. 2005. Pierwiastki śladowe w układzie gleba – roślina. *Inż. Ekolog.* 16: 28-30.
7. Kalembasa D., Jaremko D. 2007. Content of lithium, barium and strontium in waste activated sludge produced in the sewage purification plant of meat processing factory. *Ecological Chemistry and Engineering*, 14, 5-6: 479-485.
8. Kalembasa D., Jaremko D., Wiśniewska B., Majchrowska – Safaryan A. 2006. Content of lithium, barium and strontium in organic materials. *Polish J. of Environ. Stud.*, 15, 2A, II: 326-328.
9. Kalembasa S., Kalembasa D., Kania R. 2001. Wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni ścieków regionu siedleckiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 475: 279-286.
10. Migaszewski Z.M., Gałuszka A. 2007. *Podstawy geochemii środowiska*. WN-T, Warszawa.
11. Ochal P. 2009. Pilna potrzeba regeneracyjnego wapnowania gleb w Polsce. *Wyd. IUNG Puławy*, 30 ss.
12. Rozporządzenie 2002. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dn. 1 sierpnia 2002 roku. *Dz.U.Nr 134, poz. 1140*.
13. Stuczyński T. 1994. Wpływ odpadowych substancji organicznych na właściwości gleby i plonowanie roślin. *IUNG, Puławy, R.* (317), 94 ss.
14. Symanowicz B., Kalembasa S. 2010. Wpływ odpadowych węgla brunatnych i osadów ściekowych oraz ich mieszanin na zawartość kobaltu, litu i glinu w glebie i roślinie. *Acta Agrophysica* 15(1):, 167-175.

## THE INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE DOSES AND LIMING ON THE CONTENT OF Li, Ti, Ba, Sr and As IN THE TEST PLANTS BIOMASS

**Abstract.** The determination of influence of sewage sludge doses (10, 20 and 30% in the relation of soil dry mass) and liming on the content of Li, Ti, Ba, Sr and As in biomass of three tested plants (ryegrass, sunflower and maize) was the aim of this investigation. Fertilization with sewage sludge significantly differentiated the content of determined elements in the biomass tested plants. The highest content of Li and Sr was determined in the sunflower biomass, but Ba and Ti in ryegrass. Liming significantly in biomass of tested plants decreased the content of all determined elements except the Ba.

**Keywords:** sewage sludge, liming, Li, Ti, Ba, Sr and As, tested plants.