

**Agnieszka Godlewska\*, Stanisław Kalembasa\***

**WPŁYW NAWOŻENIA ORGANICZNEGO, WAPNOWANIA I GATUNKU  
GLEBY NA ZAWARTOŚĆ Li, Ba I Ti W ŻYCICY WIELOKWIATOWEJ**

**THE INFLUENCE OF ORGANIC FERTILIZATION, LIMING AND KIND OF  
SOIL ON THE CONTENT OF Li, Ba AND Ti IN ANNUAL RYEGRASS**

**Słowa kluczowe:** osad ściekowy, wapnowanie, lit, tytan, bar, życica wielokwiatowa.

**Key words:** sewage sludge, liming, lithium, barium, titanium, annual ryegrass.

*The paper presents results from study dealing with the evaluation of sewage sludge application on light and medium soils as well as liming on the content of Li, Ti and Ba in biomass of annual ryegrass. Experimental factors had significant influence on the content of Li, Ti and Ba in biomass annual ryegrass. Fertilization with sewage sludge and farmyard manure differentiated the content of Li, Ti and Ba concentration in not univocal manner. Liming significantly increased Li and Ti levels in biomass and decreased Ba in the biomass of grass species. Significantly higher Ba content was stated in the biomass plants grown on medium soil and Ti on light soil.*

## **1. WPROWADZENIE**

Pierwiastki śladowe w warunkach naturalnych występują w glebie w ilościach nieszkodliwych dla roślin, a znaczenie wielu z nich np. litu (Li), tytanu (Ti) czy baru (Ba) nie zostało jeszcze do końca poznane. Koncentracja tych pierwiastków w roślinach zależy w dużym stopniu od rodzaju gleby, odczynu, a także od czynników antropogenicznych, takich jak stosowanie do nawożenia odpadowych materiałów organicznych. Modyfikacja nawożeniem zasobności gleby [Pais 1997] może spowodować nadmierną kumulację pierwiastków śladowych, zarówno niezbędnych, jak i toksycznych dla roślin.

Osady ściekowe, stosowane w rolnictwie do celów nawozowych lub do rekultywacji są różnicowane pod względem zawartości pierwiastków śladowych, których ilość zależy od

---

\* **Dr Agnieszka Godlewska, prof. dr hab. Stanisław Kalembasa – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska, ul. Konarskiego 2, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 12 91; e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl**

rodzaju ścieków spływających na oczyszczalnię, a także od technologii ich oczyszczania [Haneklaus i in. 1996, Czekala 1999]. Wprowadzenie składników pokarmowych do gleby nie jest jednak równoznaczne z jego pełną dostępnością dla roślin, głównie ze względu na zachodzące w glebie procesy [Mazur 1995, White i in. 2003].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu nawożenia osadami ściekowymi, wapnowania i gatunku gleby na zawartość litu, tytanu i baru w życicy wielokwiatowej.

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W szklarni założono dwuletnie doświadczenie wazonowe, w układzie całkowicie losowym i badano następujące czynniki:

- gatunek gleby (piasek gliniasty mocny pylasty, glina piaszczysta pylasta);
- wapnowanie (bez wapnowania i wapnowanie według  $H_n = 1$ );
- nawożenie (obornik i osady ściekowe z dwóch oczyszczalni ścieków).

Osady ściekowe zastosowane w doświadczeniu pochodziły z oczyszczalni ścieków przemysłowych i komunalnych w Siedlcach (które w końcowym procesie obróbki poddano fermentacji metanowej i częściowo odwodniono na prasie) oraz z oczyszczalni Siedleckich Zakładów Drobiarskich „Drosed”. W doświadczeniu zastosowano jednorazowo nawożenie osadami ściekowymi w dawce 15% świeżej masy w stosunku do masy gleby. Działanie osadów porównano do obornika bydlęcego stosowanego w takiej samej dawce i terminie co osady ściekowe.

Rośliną testową była życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* L.), której podczas sezonu wegetacyjnego zbierano po trzy pokosy. Po wysuszeniu trawy oznaczono plon suchej masy, a następnie po zmieleniu roślin zmineralizowano je „na sucho” i oznaczono całkowitą zawartość litu (Li), tytanu (Ti) i baru (Ba) metodą ICP – AES. Materiał roślinny spalano w piecu muflowym w temperaturze 450°C, stopniowo podnosząc temperaturę. Następnie zmineralizowane próbki zalano roztworem HCl (1:1) z wodą i odparowano do sucha. Tak przygotowane próbki przeniesiono do kolb miarowych w 10% roztworze HCl przez sączek twardy. Całkowitą zawartość litu, tytanu i baru w osadach ściekowych oznaczono również metodą ICP–AES, po mineralizacji „na sucho”.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji z wykorzystaniem testu F-Fishera – Snedecora według programu F.R. Anal var 4.1, a wartość  $NIR_{(0,05)}$  wyliczono stosując test Tukey’a.

## 3. WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Zawartość litu w życicy wielokwiatowej (tab. 1) była zróżnicowana w zależności od wszystkich uwzględnionych w doświadczeniu czynników, nie przekraczała jednak wartości 50 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., uważanej za graniczną, dla roślin pastewnych [Gorlach 1991]. Na-

wożenie osadami ściekowymi z obu oczyszczalni istotnie zwiększyło zawartość litu w roślinach w porównaniu do roślin z obiektu kontrolnego w pierwszym roku badań. W roku następnym stwierdzono jedynie większą ilość omawianego pierwiastka w roślinach III pokosu nawożonych osadem z Siedlec. Stosowanie obornika miało istotny wpływ na zawartość litu w trawie wszystkich pokosów w porównaniu do roślin z obiektu kontrolnego, a w I pokosie drugiego roku badań także do roślin z obiektów nawożonych osadami ściekowymi. Świadczy to o szybszym tempie mineralizacji związków organicznych osadów ściekowych w stosunku do obornika, dlatego efekt nawożenia osadami widoczny był tylko w pierwszym roku badań. Wapnowanie gleby istotnie zwiększyło ilość litu w roślinach I i II pokosu pierwszego roku badań oraz I i III pokosu roku następnego, co nie jest zgodne z doniesieniami innych autorów. Jurkowska i in. [1992] oraz Rogóż [1997] wykazali, że zwapnowanie gleby obniża koncentrację litu w roślinach. Gatunek gleby jedynie w drugim roku badań miał istotny wpływ na zawartość litu w roślinach, jednak nie był to wpływ jednoznaczny.

**Tabela 1.** Zawartość Li (w mg · kg<sup>-1</sup> s.m.) w życicy wielokwiatowej w I i II roku doświadczenia

**Table 1.** The content of Li (in mg · kg<sup>-1</sup> of DM) in *Lolium multiflorum* in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> year of study

Gatunek gleby		Piasek gliniasty mocny					Gлина piaszczysta pylasta					
wapnowanie	pokosy	nawożenie				średnie	pokosy	nawożenie				średnie
		A	B	C	D			A	B	C	D	
Pokosy I roku												
0	I	22,8	35,3	23,1	31,2	28,1	I	26,4	32,5	29,1	21,5	27,4
	II	17,4	22,6	29,3	36,9	26,6	II	24,3	30,7	27,7	22,2	26,2
	III	24,1	32,6	21,0	28,3	26,5	III	21,1	36,1	24,3	33,3	28,7
	średnie	21,4	30,2	24,5	32,1	27,1	średnie	23,9	33,1	27,0	25,7	27,4
Ca	I	23,6	34,6	31,8	32,8	30,7	I	28,8	32,3	31,3	35,5	32,0
	II	17,0	33,9	27,3	45,1	30,8	II	30,6	38,2	35,8	24,9	32,4
	III	18,6	20,8	26,1	33,5	24,8	III	25,2	24,1	24,9	35,9	27,5
	średnie	19,6	29,8	28,4	27,1	28,8	średnie	28,2	31,5	30,7	32,1	30,6
średnie		20,5	30,0	26,5	34,6	28,0	średnie	26,1	32,3	28,9	28,9	24,0
Pokosy II roku												
0	I	26,3	34,5	21,6	24,7	26,8	I	19,6	32,6	26,5	21,9	25,2
	II	22,4	27,1	11,8	23,2	21,1	II	24,8	8,19	21,9	21,5	21,6
	III	12,6	23,6	22,1	11,9	17,6	III	18,0	15,9	24,6	17,7	19,1
	średnie	20,4	28,4	18,5	19,9	21,8	średnie	20,8	22,2	24,3	20,4	22,0
Ca	I	37,4	40,2	27,3	34,0	34,7	I	30,1	21,3	36,8	34,9	30,8
	II	25,1	20,7	12,4	13,6	18,0	II	19,4	13,6	20,2	24,1	19,3
	III	20,6	18,1	17,5	25,5	20,4	III	16,2	26,7	37,0	8,86	24,7
	średnie	27,7	26,3	19,1	24,4	24,4	średnie	21,4	20,5	31,3	26,0	24,9
średnie		24,1	27,4	18,8	22,2	23,1	średnie	21,4	21,4	27,8	23,2	23,5

**Objaśnienia:** A – kontrola, B – obornik, C – osad z Siedlec, D – osad z „Drosedu”.

		pokosy I rok		
		I	II	III
NIR <sub>(0.05)</sub> dla:	nawożenia	3,08	2,42	5,02
	gleby	n.i.	1,3	n.i.
	wapnowania	1,61	1,27	n.i.
	nawożenie x gleba	4,35	3,42	n.i.
	nawożenie x wapnowanie	4,35	3,42	7,09
	wapnowanie x gleba	n.i.	n.i.	

  

		pokosy II rok		
		I	II	III
NIR <sub>(0.05)</sub> dla:	nawożenia;	1,97	1,22	3,02
	gleby	1,03	0,638	1,58
	wapnowania	1,03	0,638	1,58
	nawożenie x gleba	2,79	1,72	4,26
	nawożenie x wapnowanie	2,79	1,72	n.i.
	wapnowanie x gleba	1,46	0,903	n.i.

Objaśnienie: n.i. – nieistotne.

**Tabela 2.** Zawartość Ba (w mg · kg<sup>-1</sup> s.m.) w życicy wielokwiatowej w I i II roku doświadczenia

**Table 2.** The content of Ba (in mg · kg<sup>-1</sup> of DM) in *Lolium multiflorum* in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> year of study

Gatunek gleby		Piasek gliniasty mocny					Gлина piaszczysta pylasta					
wapnowanie	pokosy	nawożenie				średnie	pokosy	nawożenie				średnie
		A	B	C	D			A	B	C	D	
Pokosy I roku												
0	I	30,2	19,6	18,5	14,2		I	24,6	30,1	22,5	21,9	24,8
	II	13,2	19,6	13,2	9,82		II	17,5	26,0	15,5	18,3	19,3
	III	16,3	12,6	6,71	9,70		III	13,4	17,5	10,3	19,1	15,1
	średnie	19,9	17,3	12,8	11,2	15,3	średnie	18,5	24,5	16,1	19,8	19,7
Ca	I	22,6	19,7	20,2	12,2		I	30,3	28,4	26,3	18,7	25,9
	II	17,4	23,8	16,6	9,5		II	16,0	27,2	17,5	21,5	20,6
	III	9,61	12,6	8,07	10,7		III	12,3	16,8	10,5	16,7	14,1
	średnie	16,5	18,7	15,0	10,8	15,2	średnie	19,5	24,1	18,1	19,0	20,2
średnie		18,2	18,0	13,9	11,0	15,3	średnie	19,0	24,3	17,1	19,4	20,0
Pokosy II roku												
0	I	19,0	13,0	13,0	12,0	14,3	I	16,9	15,1	20,6	19,4	18,0
	II	11,3	10,1	9,10	5,84	9,09	II	13,3	10,6	12,0	13,9	12,5
	III	11,7	10,3	10,1	8,83	10,2	III	13,6	8,32	11,8	13,1	11,7
	średnie	14,0	11,1	10,7	8,89	11,2	średnie	14,6	11,3	14,8	15,5	14,1
Ca	I	17,0	12,3	11,4	9,85	12,6	I	14,6	12,4	17,5	20,0	16,1
	II	9,06	8,31	8,9	6,63	8,23	II	10,8	10,8	14,6	16,2	13,1
	III	12,5	7,42	10,7	8,27	9,72	III	9,38	11,3	12,9	7,76	10,3
	średnie	12,9	9,34	10,3	8,25	10,2	średnie	11,6	11,5	15,0	14,7	13,2
średnie		13,4	10,2	10,5	8,57	10,7	średnie	13,1	11,4	14,9	15,1	13,6

Objaśnienia: A – kontrola, B – obornik, C – osad z Siedlec, D – osad z „Drosedu”.

		pokosy I rok		
		I	II	III
NIR <sub>(0,05)</sub> dla:	nawożenia	2,34	1,99	1,33
	gleby	1,22	1,05	0,695
	wapnowania	n.i.	1,05	0,695
	nawożenie x gleba	3,30	2,82	1,88
	nawożenie x wapnowanie	3,30	n.i.	1,88
	wapnowanie x gleba	1,73	n.i.	n.i.
		pokosy II rok		
		I	II	III
NIR <sub>(0,05)</sub> dla:	nawożenia;	0,956	0,626	1,26
	gleby	0,501	0,328	0,659
	wapnowania	0,501	n.i.	0,659
	nawożenie x gleba	1,35	0,886	1,78
	nawożenie x wapnowanie	n.i.	0,886	1,78
	wapnowanie x gleba	n.i.	0,464	n.i.

**Objaśnienie:** n.i. – nieistotne.

W tabeli 2 przedstawiono zawartość baru w życicy wielokwiatowej. Wpływ nawożenia organicznego na koncentrację omawianego pierwiastka w trawie był zróżnicowany w poszczególnych pokosach i latach badań. Istotnie większą zawartość baru stwierdzono tylko w roślinach II i III pokosu pierwszego roku doświadczenia nawożonych obornikiem i osadami z „Drosedu”. Natomiast w I pokosie pierwszego roku i wszystkich pokosach drugiego roku nawożenie obornikiem i osadami z „Drosedu” wpłynęło istotnie na obniżenie zawartości baru w życicy wielokwiatowej w porównaniu do zawartości w roślinach z obiektu kontrolnego. Osady ściekowe z Siedlec nie miały istotnego wpływu na koncentrację baru w trawie.

Tak odmienny wpływ osadów ściekowych na zawartość baru w roślinach może wynikać z technologii oczyszczania. Osady z „Drosedu” były strącane  $\text{FeSO}_4$  i oddzielane od części płynnej na prasie. Według Kabaty-Pendias i Pendias [1999] bar jest silnie wiązany przez konkracje żelazowe, co mogło wpłynąć w drugim roku na obniżenie baru w roślinach nawożonych osadem z „Drosedu”. Efekt wapnowania uwidocznił się wyraźnie dopiero w drugim roku badań, w którym stwierdzono istotne zmniejszenie zawartości baru w roślinach I i III pokosu na obiektach wapnowanych, co jest zgodne z literaturą [Kabata-Pendias i Pendias 1999]. Wpływ gatunku gleby na koncentrację baru w życicy wielokwiatowej był wyraźny i jednoznaczny. Istotnie większą zawartość tego pierwiastka stwierdzono w roślinach uprawianych na glinie piaszczystej w porównaniu z roślinami uprawianymi na piasku gliniastym, z którego bar jest wylukiwany.

Życica wielokwiatowa uprawiana na obiekcie kontrolnym zbierana w I pokosie pierwszego roku oraz II i III pokosie roku następnego zawierała istotnie więcej tytanu (tab. 3) niż życica nawożona osadami ściekowymi. Kalembasa i Wysokiński [2009] stwierdzili także większą zawartość tytanu w roślinach uprawianych na obiekcie kontrolnym w porównaniu do zawartości w roślinach z obiektów nawożonych osadami ściekowymi. W pozostałych pokosach roślin natomiast stwierdzono istotnie większą koncentrację tytanu w roślinach nawożonych osadami z „Drosedu”. Działanie nawozowe obornika istotnie zwiększyło zawar-

tość tytanu w trawie z I i II pokosu w pierwszym roku badań. Wapnowanie gleby, podobnie jak w przypadku litu, istotnie zwiększyło zawartość tytanu w roślinach. Jedynie w ostatnim pokosie drugiego roku doświadczenia koncentracja omawianego pierwiastka obniżyła się w trawie z obiektów wapnowanych.

**Tabela 3.** Zawartość Ti (w mg · kg<sup>-1</sup> s.m.) w życicy wielokwiatowej w I i II roku doświadczenia  
**Table 3.** The content of Ti (in mg · kg<sup>-1</sup> of DM) in *Lolium multiflorum* in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> year of study

Gatunek gleby		Piasek gliniasty mocny					Gлина piaszczysta pylasta					
wapnowanie	Pokosy	nawożenie				średnie	pokosy	nawożenie				średnie
		A	B	C	D			A	B	C	D	
Pokosy I roku												
0	I	2,61	2,32	1,11	1,52	1,89	I	1,17	2,87	0,980	1,04	1,52
	II	1,83	0,901	1,08	1,23	1,26	II	0,530	1,22	1,07	0,980	0,950
	III	0,782	0,590	0,411	1,01	0,698	III	0,296	0,341	0,548	1,00	0,546
	średnie	1,74	1,27	0,867	1,25	1,28	średnie	0,665	1,48	0,866	1,01	1,00
Ca	I	2,42	2,04	1,15	2,39	2,00	I	2,75	2,60	2,36	1,19	2,23
	II	1,30	1,92	1,21	1,07	1,38	II	0,542	1,81	1,10	1,11	1,14
	III	0,648	0,394	0,271	1,22	0,633	III	0,482	0,340	0,349	0,710	0,470
	średnie	1,46	1,45	0,877	1,56	1,34	średnie	1,26	1,58	1,27	1,00	1,28
średnie		1,60	1,36	0,872	1,41	1,31	średnie	0,962	1,53	1,07	1,01	1,14
Pokosy II roku												
0	I	2,36	2,03	1,90	3,22	2,38	I	1,61	1,89	1,90	2,02	1,86
	II	1,00	1,49	0,88	0,687	1,01	II	1,03	0,742	1,09	0,660	0,881
	III	0,71	1,10	0,910	0,811	0,883	III	1,05	1,05	0,83	0,774	0,926
	średnie	1,36	1,54	1,23	1,57	1,42	średnie	1,23	1,23	1,27	1,15	1,22
Ca	I	2,51	2,47	2,28	2,70	2,49	I	2,45	1,84	2,09	3,02	2,35
	II	2,07	1,48	1,15	1,25	1,49	II	1,45	1,61	1,04	1,03	1,28
	III	1,08	0,752	1,14	0,537	0,877	III	0,709	0,680	0,645	0,497	0,633
	średnie	1,89	1,57	1,52	1,50	1,62	średnie	1,54	1,38	1,26	1,52	1,42
średnie		1,62	1,55	1,38	1,53	1,52	średnie	1,38	1,30	1,27	1,33	1,32

**Objaśnienia:** A – kontrola, B – obornik, C – osad z Siedlec, D – osad z „Drosedu”.

		pokosy I rok		
		I	II	III
NIR <sub>(0.05)</sub> dla:	nawożenia	0,228	0,081	0,085
	gleby	n.i.	0,042	0,044
	wapnowania	0,119	0,042	0,044
	nawożenie x gleba	0,332	0,114	0,120
	nawożenie x wapnowanie	0,322	0,114	0,120
	wapnowanie x gleba	0,169	0,060	n.i.

		pokosy II rok		
		I	II	III
NIR <sub>(0.05)</sub> dla:	nawożenia;	0,158	0,131	0,126
	gleby	0,083	0,069	0,066
	wapnowania	0,083	0,069	0,066
	nawożenie x gleba	0,224	0,186	0,178
	nawożenie x wapnowanie	n.i.	0,186	0,178
	wapnowanie x gleba	0,117	n.i.	0,093

**Objaśnienie:** n.i. – nieistotne.

Gatunek gleby jednoznacznie zróżnicował zawartość tytanu w roślinach. Stwierdzono istotnie większą koncentrację badanego pierwiastka w życicy wielokwiatowej uprawianej na glebie lekkiej.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań sformulowano następujące wnioski:

- 1) nawożenie obornikiem i osadami ściekowymi niejednoznacznie, jakkolwiek istotnie zróżnicowało zawartość Li, Ba i Ti w trawie;
- 2) wapnowanie istotnie zwiększyło koncentrację litu i tytanu, a zmniejszyło koncentrację baru w życicy wielokwiatowej;
- 3) zawartość baru była istotnie większa w roślinach z obiektu na glinie piaszczystej, a tytanu w roślinach uprawianych na piasku gliniastym.

#### PIŚMIENNICTWO

- CZEKAŁA J. 1999. Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych. *Fol. Univ. Agric. Stein.* 200, *Agricultura (77)*: 33–38.
- GORLACH E. 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich właściwości. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 262, *Ses. Nauk.* 34: 13–22.
- HANEKLAUS S., HARAS H., KLASA A., NOWAK G.A., SCHNUG E., WIERZBOWSKA J. 1996. Zawartość kobaltu, molibdenu, tytanu, cyrkonu i wanadu w osadach pościekowych oraz glebach w warunkach rolniczej ich utylizacji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434: 819–824.
- JURKOWSKA H., ROGÓŻ A., WOJCIECHOWICZ T. 1992. The effect of liming on the content of lithium in plants. *Pol. J. Sci.* XXV/2: 193–199.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa: 398.
- MAZUR T. 1995. Rozważania o degradacji gleb w wyniku nawożenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418: 25–36.
- PAIS I.J. JONES B. 1997. *The handbook of trace elements*. St Lucie Press, Boca Raton, FL. 223.
- ROGÓŻ A. 1997. Wpływ odczynu gleby na zawartość litu w roślinach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 448 b: 273–279.
- WHITE S.K., BRUMMER J.E., LEININGER W.C., FRASIER G.W., WASKOM R.M., BAUDER T.A. 2003. Irrigated mountain meadow fertilizer application timing effect on overland flow water quality. *Environ. Qual. J.* 32: 1802–1808.