

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej,
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce,
e-mail: barbara.symanowicz@uph.edu.pl

BARBARA SYMANOWICZ, STANISŁAW KALEMBASA,
MATEUSZ NIEDBAŁA, MARTYNA TOCZKO

Wpływ wzrastającego nawożenia potasem na zmiany w zawartości selenu i tytanu w glebie oraz rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.)

The effects of increasing potassium fertilization on changes in the content
of selenium and titanium in the soil and eastern galega (*Galega orientalis* Lam.)

Streszczenie. Celem badań była ocena zmian zawartości selenu i tytanu w glebie i rutwicy wschodniej pod wpływem wzrastającego nawożenia potasem oraz pobrania analizowanych pierwiastków z plonem rośliny testowej. Trzyletnie doświadczenie polowe przeprowadzono na polach doświadczalnych należących do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. W badaniach uwzględniono sześć obiektów nawozowych: obiekt kontrolny (0); P₁; K₁; P₁K₂; P₁K₃; P₁K₄ (P₁ – 23, K₁ – 83, K₂ – 124, K₃ – 166, K₄ – 207,5 kg ha⁻¹). W każdym roku badań zbierano trzykrotnie roślinę testową w fazie pąkowania. Po zbiorach pobierano próbki gleby. Zróżnicowane nawożenie potasem istotnie wpłynęło na zmiany zawartości selenu i tytanu w glebie oraz w rutwicy wschodniej. Największą zawartość selenu oznaczono w glebie pobranej z obiektu nawozowego P₁ – 23 kg ha⁻¹, a tytanu w glebie nawożonej potasem w ilości 207,5 kg ha⁻¹. Zastosowanie potasu w dawkach (K₃ – 166 i K₄ – 207,5 kg ha⁻¹) spowodowało istotne zwiększanie zawartości selenu w roślinie testowej w stosunku do dawki 83 kg ha⁻¹ (K₁). Zastosowanie soli potasowej w dawce K₂ (124 kg ha⁻¹) wpłynęło na istotne zmniejszenie zawartości tytanu w roślinie testowej w odniesieniu do obiektu nawożonego K₁ – 83 kg ha⁻¹. Rutwica zbierana w kolejnych terminach i kolejnych latach badań zawierała mniejsze ilości selenu i tytanu. Zawartość selenu i tytanu w suchej masie rośliny testowej mieściła się poniżej zakresu liczb granicznych określających dopuszczalne ilości tych pierwiastków w paszy. Rutwica wschodnia nawożona dawką P₁ – 23 kg ha⁻¹ i K₃ – 166 kg ha⁻¹ pobrała z plonem największe ilości selenu i tytanu.

Słowa kluczowe: rutwica wschodnia, nawożenie PK, Se, Ti, gleba, pobranie

WSTĘP

Selen i tytan zaliczane są do pierwiastków śladowych niezbędnych do funkcjonowania organizmów roślinnych i zwierzęcych. W roślinach przeznaczonych na paszę monito-

rowanie zawartości tych pierwiastków jest konieczne, ponieważ zarówno ich nadmiar, jak i niedobór wpływa ujemnie na wzrost i rozwój, a także na stan zdrowia zwierząt i ludzi [Anke 1987, Gorlach 1991, Jamroz i in. 2001, Kabata-Pendias 2011, Winkel i in. 2012]. Selen odgrywa istotną rolę w metabolizmie roślin akumulujących go w dużych ilościach. Dotyczy to szczególnie roślin bobowatych, w których selen może występować w związkach z cysteiną i metioniną, zastępując siarkę [Kabata-Pendias 2011]. Badania Ordak i in. [2013] wykazały małą różnicę pomiędzy optymalną i toksyczną zawartością selenu dla ludzi i zwierząt, a niedobór selenu może hamować wytwarzanie selenoprotein i pogarszać odporność. Tytan jest pierwiastkiem o najmniejszym wskaźniku fitoakumulacji. Stymuluje symbiotyczne wiązanie azotu przez mikroorganizmy i korzystnie oddziałuje na proces fotosyntezy [Kabata-Pendias 2011].

Celem przeprowadzonych badań była ocena zmian zawartości selenu i tytanu w glebie oraz w biomase rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) pod wpływem zróżnicowanego nawożenia potasem.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono na poletkach doświadczalnych należących do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach (52°17'N, 22°28'E). Gleba, na której uprawiano rutwicę wschodnią (*Galega orientalis* Lam.) wytworzona była z piasku gliniastego (LS), charakteryzowała się odczynem obojętnym (pH w 1 mol KCl $\text{dm}^{-3} = 7,04$) i zawierała następujące ilości ogólnych form selenu i tytanu w mg kg^{-1} : 0,64 i 38,93. Zasobność gleby w przyswajalny fosfor i potas oznaczono metodą Egnera-Riehma i określono jako średnią, a zasobność w przyswajalny magnez oznaczona metodą Schachtschabela była niska. W badaniach uwzględniono następujące czynniki: I – terminy zbioru (3); II – lata badań (3); III – nawożenie (6). Obiekty nawozowe: obiekt kontrolny (0 – bez nawożenia); P₁; K₁; P₁K₂; P₁K₃; P₁K₄. Nawozy fosforowe w formie superfosfatu potrójnego (20% P) stosowano jesienią w dawce P₁ – 23 kg ha^{-1} , a potasowe (K₁ – 83; K₂ – 124; K₃ – 166; K₄ – 207,5 kg ha^{-1}) w formie 60% soli potasowej stosowano w dwóch dawkach (wcześnie wiosną – do 124 kg ha^{-1} i pozostała po I terminie zbioru). Siew rutwicy wschodniej wykonano w trzeciej dekadzie kwietnia na głębokość 2–3 cm w ilości 24 kg ha^{-1} w rzędy 12–15 cm. Skaryfikowane mechanicznie nasiona wysiano do gleby zainfekowanej szczepem bakterii *Rhizobium galegae*. Pierwsze wschody zaobserwowano po dwóch tygodniach.

Po zbiorze rutwicy w trzech terminach (trzecia dekada maja, trzecia dekada lipca, trzecia dekada września), pobierano próbki gleby, które wysuszono, roz tarto w moździerzu i przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W każdym roku badań zbierano trzykrotnie roślinę testową w fazie pąkowania. Podczas zbioru pobierano próbki całych roślin rutwicy, które wysuszono i zmielono. Ogólną zawartość selenu i tytanu w glebie oznaczono po mineralizacji „na mokro” w mieszaninie stężonego HCl i HNO₃ (3 : 1), a w roślinie po mineralizacji „na sucho” metodą ICP–AES na spektrofotometrze emisyjnym z plazmą wzbudzaną indukcyjnie [Szczepaniak 2005].

Wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując program ANALWAR-5.FR i Statistica 12.5 PL, a istotne różnice (NIR) obliczono za pomocą testu Tukeya przy poziomie istotności $p \leq 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Selen i tytan występują w grupie pierwiastków śladowych, niezbędnych dla organizmów żywych, jednakże po przekroczeniu dopuszczalnej granicy zawartości mogą działać toksycznie [Kabata-Pendias 1998, 2011, Gorchach i Gambuś 2000].

Zawartość selenu i tytanu w glebie

Naturalna zawartość pierwiastków śladowych w glebie, w tym selenu i tytanu, stanowi tzw. tło geochemiczne [Kabata-Pendias 1998]. O zanieczyszczeniu tymi pierwiastkami gleby uprawianej rolniczo świadczy zawartość przekraczająca tło. W ramach różnorodnej działalności człowieka istnieje możliwość narażenia środowiska na toksyczne działanie selenu i tytanu. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że średnie zawartości selenu i tytanu w glebie (tab. 1 i 2) były istotnie zróżnicowane w zależności od zastosowanego nawożenia, kolejnych lat prowadzenia badań oraz współdziałania tych czynników. Średnie zawartości selenu wahały się od $0,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w glebie nawożonej tylko potasem w ilości $83 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, pobranej po trzecim roku badań, do $0,82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w glebie nawożonej fosforem i potasem w dawkach: 23 kg P i 124 kg K (P_1K_2), pobranej po pierwszym roku badań (tab. 1). W kolejnych latach badań stwierdzono istotnie mniejsze zawartości selenu w glebie, co było związane z sukcesywnym pobraniem tego pierwiastka z plonem rutwicy wschodniej. Wyłączne nawożenie potasem w dawce 83 kg (K_1) wpłynęło na istotne obniżenie zawartości selenu w glebie (o 58%) w odniesieniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Duże dawki potasu – 166 kg (K_3) i $207,5 \text{ kg}$ (K_4) – spowodowały nieistotne obniżenie poziomu selenu w glebie w odniesieniu do obiektu bez nawożenia. Przedstawione zawartości selenu w glebie kształtują się na poziomie zawartości oznaczonych w glebach Europy i świata [Kabata-Pendias 1998, 2011, Harti-

Tabela 1. Ogólna zawartość selenu w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 1. Total selenium content in the soil ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Nawożenie Fertilization (N)	Termin zbioru/ Crop term (T) (średnia z 3 lat/ mean of the 3 years)			Lata/ Years (L) (średnia z 3 terminów zbioru/ mean of the 3 crop terms)			Średnia dla nawożenia/ Mean for fertilization
	I	II	III	1	2	3	
0	0,43	0,41	0,32	0,63	0,35	0,17	0,38
P_1	0,52	0,43	0,39	0,78	0,37	0,19	0,45
K_1	0,15	0,16	0,17	0,29	0,11	0,08	0,16
P_1K_2	0,41	0,44	0,48	0,82	0,33	0,18	0,44
P_1K_3	0,29	0,30	0,25	0,43	0,28	0,12	0,28
P_1K_4	0,31	0,31	0,27	0,52	0,28	0,09	0,30
Średnia Mean	0,35	0,34	0,31	0,58	0,29	0,14	0,33

$\text{NIR}_{0,05}/\text{LSD}_{0,05}$: termin zbioru/ crop term (T) – n.i.; lata/ years (L) – 0,08; nawożenie/ fertilization (N) – 0,14; $\text{T} \times \text{L}$ – n.i.; $\text{L} \times \text{T}$ – n.i.; $\text{T} \times \text{N}$ – n.i.; $\text{N} \times \text{T}$ – n.i.; $\text{L} \times \text{N}$ – 0,12; $\text{N} \times \text{L}$ – 0,15

Tabela 2. Ogólna zawartość tytanu w glebie (mg kg^{-1})
 Table 2. Total titanium content in the soil (mg kg^{-1})

Nawożenie Fertilization (N)	Termin zbioru/ Crop term (T) (średnia z 3 lat/ mean of the 3 years)			Lata/ Years (L) (średnia z 3 terminów zbioru/ mean of the 3 crop terms)			Średnia dla nawożenia Mean for fertilization
	I	II	III	1	2	3	
0	35,52	30,68	35,02	38,81	30,67	31,74	33,74
P ₁	37,55	29,61	35,42	35,77	34,97	31,84	34,19
K ₁	35,16	39,24	33,17	37,62	37,57	32,39	35,86
P ₁ K ₂	36,92	38,06	36,37	44,29	35,16	31,90	37,12
P ₁ K ₃	38,85	38,86	37,07	35,73	43,74	35,31	38,26
P ₁ K ₄	45,13	45,12	44,42	40,90	48,45	45,33	44,89
Średnia Mean	38,19	36,93	36,91	38,85	38,43	34,75	37,34

NIR_{0,05}/ LSD_{0,05}: termin zbioru/ crop term (T) – n.i.; lata/ years (L) – 4,04; nawożenie/ fertilization (N) – 6,76; T × L – n.i.; L × T – n.i.; T × N – n.i.; N × T – n.i.; L × N – 7,19; N × L – 8,93

kainen 2005, Bitterli i in. 2010]. Badania Szákovej i in. [2015] wskazują, że poziom selenu w glebie zależał w dużym stopniu od lokalizacji i jej parametrów, np. gleba łąkowa zawierała $0,248 \text{ mg kg}^{-1}$, a gleba pobrana przy fabryce srebra $1,104 \text{ mg kg}^{-1}$. Mniejsze zawartości selenu przedstawiono w badaniach Borowskiej i Koper [2011] oraz Borowskiej i in. [2013, 2014]. Były to zawartości poniżej $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$. W badaniach Patorczyk-Pytlik i Kulczyckiego [2009] wykazano, że przy niskim pH wystąpiła redukcja biodostępności selenu.

Tytan jako pierwiastek śladowy uważany jest za podrzędny składnik skorupy ziemskiej [Kabata-Pendias 2011]. Nie podlega dużej migracji w glebie w związku z bardzo małą rozpuszczalnością w wodzie związków tytanu, a także słabym wietrzeniem minerałów zawierających ten pierwiastek. Według Kabaty-Pendias [2011] może on ulec koncentracji w glebach o składzie granulometrycznym piasków, w materiałach odpadowych zawierających większe ilości substancji organicznej [Symanowicz i in. 2013] lub minerałów ilastych. Średnia ogólna zawartość tytanu w analizowanej glebie kształtowała się na poziomie $37,34 \text{ mg kg}^{-1}$ (tab. 2) i była znacznie mniejsza w porównaniu z danymi dotyczącymi gleb Polski, Europy i świata [Kabata-Pendias 2011]. Zastosowanie wzrastających dawek nawozów potasowych spowodowało stopniowe zwiększenie zawartości tytanu w glebie. W porównaniu z obiektem nienawożonym największa dawka potasu ($207,5 \text{ kg ha}^{-1}$) spowodowała istotne zwiększenie zawartości tytanu w glebie o $11,15 \text{ mg kg}^{-1}$. Istotne zmniejszenie zawartości tytanu w poziomie próchnicznym gleby wystąpiło po trzecim roku badań. Kolejne terminy zbioru nie wpłynęły istotnie na zawartość Se i Ti w glebie (tab. 1 i 2).

Zawartość selenu i tytanu w rutwicy wschodniej

Dla niektórych roślin nawet mała zawartość rozpuszczalnych form i organicznych połączeń selenu może ulegać bioakumulacji i być toksyczna [Lemly 1993]. W badaniach

własnych średnia zawartość selenu w suchej masie rutwicy wschodniej zbieranej w fazie pąkowania wahała się w zakresie od 0,69 do 2,2 mg·kg⁻¹ (tab. 3). Zastosowane dawki potasu (oprócz najmniejszej) wpłynęły na istotne zmniejszenie zawartości selenu w rutwicy w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Istotne obniżenie zawartości selenu w rutwicy wykazano w kolejnych terminach zbioru oraz w kolejnych latach badań. Było to związane z wynoszeniem badanego pierwiastka z plonem rutwicy wschodniej. Oznaczone zawartości selenu mieściły się w zakresie dopuszczalnych wartości dla roślin pastewnych [Underwood 1971, Anke 1987, Gorlach 1991]. W badaniach Borowskiej i Kopera [2011] oznaczono 5-krotnie mniejsze ilości selenu w koniczynie czerwonej (średnio 0,116 mg·kg⁻¹) po zastosowaniu obornika w dawkach od 20 do 80 t·ha⁻¹ i były to zawartości niedoborowe [Gorlach 1991]. Również stosowane nawożenie azotowe w formie saletry amonowej i naturalne (gnojowica trzody chlewnej) wpłynęły na zmniejszenie zawartości Se poniżej dopuszczalnych wartości w koniczynie czerwonej, jęczmieniu jarym z wsiewką i w kukurydzy [Borowska i in. 2014].

Tabela 3. Zawartość selenu w rutwicy wschodniej (mg·kg⁻¹)
Table 3. Selenium content in the eastern galega (mg·kg⁻¹)

Nawożenie Fertilization (N)	Termin zbioru/ Crop term (T) (średnia z 3 lat/ mean of the 3 years)			Lata/ Years (L) (średnia z 3 terminów zbioru/ mean of the 3 crop terms)			Średnia dla nawożenia Mean for fertilization
	I	3	III	1	2	3	
0	1,59	1,51	1,07	2,20	1,25	0,71	1,39
P ₁	1,28	1,33	1,18	1,45	1,53	0,81	1,26
K ₁	0,84	0,86	0,89	1,10	0,81	0,69	0,86
P ₁ K ₂	1,09	0,96	0,88	1,47	0,94	0,53	0,98
P ₁ K ₃	1,18	1,13	1,02	1,48	1,06	0,79	1,11
P ₁ K ₄	1,33	1,16	0,86	1,70	0,94	0,71	1,11
Średnia Mean	1,22	1,16	0,98	1,60	1,09	0,71	1,12

NIR_{0,05}/ LSD_{0,05}: termin zbioru/ crop term (T) – 0,09; lata/ years (L) – 0,09; nawożenie/ fertilization (N) – 0,15; T × L – 0,16; L × T – 0,16; T × N – 0,22; N × T – 0,27; L × N – 0,22; N × L – 0,27

Zawartość tytanu w roślinach mieści się w granicach 0,1–1,0 mg·kg⁻¹ [Kabata-Pendias 2011]. Jest to związane z biernym pobieraniem tytanu przez korzenie, które zależy głównie od rozpuszczalności jego związków w roztworze glebowym. W badaniach własnych średnia zawartość tytanu w rutwicy wschodniej kształtowała się na wysokim poziomie 1,89 mg·kg⁻¹ (tab. 4). Wzrastające dawki potasu wpłynęły istotnie na zwiększenie zawartości tytanu w roślinie (średnio o 11,1%) w odniesieniu do zawartości oznaczonej w rutwicy zebranej z obiektu kontrolnego. W drugim i trzecim terminie zbioru rutwicy wschodniej oraz w drugim i trzecim roku prowadzenia badań w stosunku do

pierwszego terminu zbioru i pierwszego roku badań odnotowano istotne zmniejszenie zawartości Ti w roślinie testowej. Było to związane z wyczerpaniem rozpuszczalnych i przyswajalnych form tego pierwiastka w glebie [Kabata-Pendias 2011]. Obliczone równania regresji prostej wskazują, że zawartość selenu i tytanu w roślinie zwiększała się wraz ze zwiększaniem zawartości tych pierwiastków w glebie ($y_{Se} = 0,79 + 0,98x$; $y_{Ti} = 1,41 + 0,01x$).

Tabela 4. Zawartość tytanu w rutwicy wschodniej ($mg \cdot kg^{-1}$)
Table 4. Titanium content in the eastern galega ($mg \cdot kg^{-1}$)

Nawożenie Fertilization (N)	Termin zbioru/ Crop term (T) (średnia z 3 lat/ mean of the 3 years)			Lata/ Years (L) (średnia z 3 terminów zbioru/ mean of the 3 crop terms)			Średnia dla nawożenia Mean for fertilization
	I	II	III	1	2	3	
0	2,13	1,37	1,34	2,65	1,12	1,07	1,61
P ₁	2,17	1,84	2,18	3,61	1,27	1,31	2,07
K ₁	2,62	1,78	1,60	3,45	1,11	1,44	2,00
P ₁ K ₂	2,19	1,67	1,48	3,21	0,89	1,24	1,78
P ₁ K ₃	1,82	1,83	2,03	3,29	1,13	1,26	1,89
P ₁ K ₄	2,08	1,92	1,96	3,54	1,22	1,21	1,99
Średnia/ Mean	2,17	1,73	1,76	3,29	1,12	1,25	1,89
NIR _{0,05} / LSD _{0,05} : termin zbioru/ crop term (T) – 0,09; lata/ years (L) – 0,09; nawożenie/ fertilization (N) – 0,15; T × L – 0,15; L × T – 0,15; T × N – 0,21; N × T – 0,26; L × N – 0,21; N × L – 0,26							

Pobranie selenu i tytanu z plonem rutwicy wschodniej

Ilość selenu i tytanu pobranego z plonem rutwicy wschodniej (tab. 3 i 4) zależała od wielkości plonu [Symanowicz i Kalembasa 2010] i zawartości tych pierwiastków w roślinie. Taką zależność potwierdzają wyznaczone równania regresji prostej pomiędzy pobraniem selenu i tytanu a zawartością tych pierwiastków w roślinie ($y_{Se} = 1392,72 + 6279,24x$; $y_{Ti} = -1941,32 + 9363,31x$). Rutwica wschodnia nawożona dawką P₁K₃ (P₁ – 23, K₃ – 166 $kg \cdot ha^{-1}$) pobrała z plonem największe ilości selenu i tytanu (tab. 5 i 6). Zmniejszone pobranie analizowanych pierwiastków z plonem rośliny testowej w kolejnych terminach zbioru i latach prowadzenia badań było konsekwencją mniejszych plonów i zmniejszających się ich zawartości w roślinie. Wyznaczone równanie regresji prostej ($y = 18144,74 - 0,26x$) wskazuje, że zwiększone pobranie tytanu z plonem rutwicy wschodniej wpłynęło na zmniejszenie pobrania selenu. Zawartość selenu w roślinie testowej oraz jego pobranie z plonem było dodatnio skorelowane z ogólną zawartością selenu w glebie (tab. 7). Odnotowano również dodatnią zależność pomiędzy pobraniem selenu a jego zawartością w roślinie, pobraniem tytanu a zawartością tytanu w roślinie oraz pomiędzy pobraniem tytanu a pobraniem selenu. Zawartość selenu w rutwicy wschodniej była ujemnie skorelowana z zawartością tytanu w roślinie.

Tabela 5. Pobranie selenu z plonem suchej masy rutwicy wschodniej ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
 Table 5. Uptake of selenium with dry matter yield of eastern galega ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Nawożenie Ferti- zation (N)	Termin zbioru/ Crop term (T) (średnia z 3 lat/ mean of the 3 years)			Lata/ Years (L) (średnia z 3 terminów zbioru/ mean of the 3 crop terms)			Średnia dla nawożenia Mean for fertilization
	I	II	III	1	2	3	
0	5 565	3 141	1 273	16 390	9 400	3 791	9 410
P ₁	4 992	3 897	1 982	14 935	12 944	5 411	10 710
K ₁	3 133	1 901	1 655	9 592	6 286	4 782	6 708
P ₁ K ₂	4 458	3 005	1 927	15 729	8 535	4 447	9 212
P ₁ K ₃	6 372	3 277	2 407	17 612	11 236	7 505	11 766
P ₁ K ₄	4 549	2 274	1 290	10 319	6 712	5 254	7 626
Średnia Mean	4 892	2 935	1 764	14 704	9167	5 233	9 330

Tabela 6. Pobranie tytanu z plonem suchej masy rutwicy wschodniej ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
 Table 6. Uptake of titanium with dry matter yield of eastern galega ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Nawożenie Ferti- zation (N)	Termin zbioru/ Crop term (T) (średnia z 3 lat/ mean of the 3 years)			Lata/ Years (L) (średnia z 3 terminów zbioru/ mean of the 3 crop terms)			Średnia dla nawożenia Mean for fertilization
	I	II	III	1	2	3	
0	7 455	2 850	1 595	19 742	8 422	5 714	10 900
P ₁	8 463	5 391	3 662	37 183	10 744	8 751	17 595
K ₁	9 773	3 934	2 976	30 084	8 614	9 979	15 600
P ₁ K ₂	8 957	5 227	3 241	34 347	8 081	10 404	16 732
P ₁ K ₃	9 828	5 307	4 791	39 151	11 978	11 970	20 034
P ₁ K ₄	7114	3 763	2 940	21 488	8 711	8 954	13 671
Średnia Mean	8 702	4 377	3 168	30 235	9 419	9 212	15 744

Tabela 7. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy zawartością Si i Ti oraz pobraniem
 Table 7. Correlation coefficients (r) between Si and Ti content and uptake

Badane cechy Examined properties	Se _g	Ti _g	Se _r	Ti _r	Se _p	Ti _p
Se _g	1,00					
Ti _g	-0,27	1,00				
Se _r	0,57*	-0,28	1,00			
Ti _r	-0,28	0,30	-0,40*	1,00		
Se _p	0,51*	-0,30	0,50*	-0,14	1,00	
Ti _p	-0,22	-0,01	-0,39	0,50*	0,55*	1,00

r istotne dla $\alpha \leq 0,05$ / r significant for $\alpha \leq 0,05$

STWIERDZENIA I WNIOSKI

1. Wzrastające nawożenie potasem istotnie różnicowało zawartość form ogólnych selenu i tytanu w glebie.
2. Zróżnicowane nawożenie potasem wpłynęło na istotne zmniejszenie zawartości selenu oraz zwiększenie zawartości tytanu w rutwicy wschodniej.
3. Największe pobranie badanych pierwiastków z plonem rutwicy wschodniej uzyskano po zastosowaniu potasu w dawce 166 kg ha^{-1} .
4. Średnia zawartość selenu i tytanu w glebie i roślinie testowej w kolejnych terminach zbioru i latach badań na ogół stopniowo ulegała zmniejszeniu.
5. Uzyskane zawartości selenu i tytanu w rutwicy wschodniej mieszczą się w zakresie dopuszczalnych wartości w paszy.

PIŚMIENNICTWO

- Anke M., 1987. Kolloquien des Instituts für Pflanzenernährung. Jena 2, 110–111.
- Bitterli C., Bañuelos G.S., Schulin R., 2010. Use of transfer factors to characterize uptake of selenium by plants. *J. Geochem. Explor.* 107, 206–216.
- Borowska K., Grabowska M., Kozik K., 2013. Selenium content and enzymatic activity of soil after applying farmard manure and mineral nitrogen. *Environ. Prot. Nat. Resour.* 24, 2 (56), 5–10, DOI: 10.2478/OSZN-2013-0023.
- Borowska K., Koper J., 2011. Dynamics of changes of selenium content in soil and red clover (*Trifolium pratense* L.) affected by long-term organic fertilization on the background of selected soil oxidoreductases. *Pol. J. Environ. Stud.* 20 (6), 1403–1410.
- Borowska K., Koper J., Kozik K., Rutkowska A., 2014. Effect of slurry fertilization on the selenium content and catalase activity in lessive soil. *J. Elementol.* 19 (3), 649–660, DOI: 10.5601/jelem.2014.19.3.705.
- Gorlach E., 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 262 (34), 13–21.
- Gorlach E., Gambuś F., 2000. Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 472, 275–296.
- Hartikainen H., 2005. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J. Trace Elementol. Med. Biol.* 18, 309–315.
- Jamroz D., Buraczewski S., Kamiński J., 2001. Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo. Cz. 1. Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., 1998. Geochemistry of selenium. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 17(3–4), 1–5.
- Kabata-Pendias A., 2011. Trace elements in soils and plants. 4th ed. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton.
- Lemly A., D., 1993. uidelines for evaluating selenium data from aquatic monitoring and assessment studies. *Environ. Monit. Assess.* 28, 83–100.
- Ordak M., Matsumoto H., Nasierowski T., Bulska E., Maj-Zurawska M., Wojnar M., 2013. Role of selenium in pathophysiology of alcohol dependence – indications for supplementation. *J. Elementol.* 18(4), 757–767.
- Patorczyk-Pytlik B., Kulczycki G., 2009. Content of selenium in arable soils near Wrocław. *J. Elementol.* 14 (4), 755–762.

- 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.
- Symanowicz B., Kalembasa S., Jaremko D., Niedbała M., 2013. Polskie odpadowe węgle brunatne – potencjalne źródło składników pokarmowych roślin. *Annales UMCS, sec. E, Agricultura* 68(4), 21–27.
- Szákova J., Tremlová J., Pegová K., Najmanova J., Tlustoš P., 2015. Soil-to-plant transfer of native selenium for wild vegetation cover at selected locations of the Czech Republic. *Environ. Monit. Assess.* 187, 358–369, DOI: 10.1007/s10661-015-4588-1.
- Szczepaniak W., 2005. *Metody instrumentalne w analizie chemicznej*. PWN, Warszawa, 165–168.
- Underwood S.J., 1971. *Żywnienie mineralne zwierząt*. PWRiL, Warszawa.
- Winkel L.H.E., Johnson C.A., Lenz M., Grundl T., Leupin O. X., Amini M., Charlet L., 2012. Environmental selenium research from microscopic processes to global understanding. *Environ. Sci. Technol.* 46 (2), 571–579.

Summary. The aim of this study was to estimate changes in the content of selenium and titanium in soil and eastern galega under the influence of growing potassium fertilization and the sampling of the analyzed elements together with the yield of the test plant. A three-year field experiment was conducted on experimental plots belonging to the University of Natural Sciences and Humanities in Siedlce. The study included the following six fertilization objects: control treatment (0); P₁; K₁; P₁K₂; P₁K₃; P₁K₄ (P₁ – 23, K₁ – 83, K₂ – 124, K₃ – 166, K₄ – 207.5 kg·ha⁻¹). In each year of the study a test plant was collected three times in the budding stage. After harvesting galega soil samples were collected. Varied potassium fertilization had a significant impact on changes in the content of selenium and titanium in the soil and eastern galega. Most selenium in the soil was determined with the control object, and titanium in the soil fertilized with a dose of potassium 83 kg·ha⁻¹. The use of potassium doses (K₃–K₄ 166–207.5 kg·ha⁻¹) resulted in a significant increase of selenium content in the test plant in relation to the dose of 83 kg·ha⁻¹ (K₁). The use of the potassium salt at a dose of K₂ (124 kg·ha⁻¹) resulted in a significant reduction in the titanium content in the test plant in comparison to K₁ fertilization K₁ (83 kg·ha⁻¹). Eastern galega harvested at successive dates and subsequent years of study contained smaller amounts of selenium and titanium. The content of selenium and titanium in the dry mass of the test plant was below the range limit numbers defining the permissible quantities of elements in the feed. Eastern galega fertilized with the dose of phosphorus 23 kg·ha⁻¹ and potassium 166 kg·ha⁻¹ absorbed the largest amounts of selenium and titanium with the yield.

Key words: eastern galega, PK fertilization, Se, Ti, soil, uptake