

ZMIANY ZAWARTOŚCI WYBRANYCH MAKROELEMENTÓW
W *PISUM SATIVUM* L. I W GLEBIE POD WPLYWEM ZRÓŻNICOWANEGO
NAWOŻENIA POTASOWEGO

Barbara Symanowicz, Stanisław Kalembasa, Martyna Toczko

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

Streszczenie. Potas i magnez to makroelementy niezbędne do wzrostu i rozwoju roślin. Zawartość tych pierwiastków w roślinie i w glebie powinna być monitorowana, ponieważ przy pobieraniu ich z gleby przez system korzeniowy roślin może też wystąpić antagonizm jonowy. Niedobór lub nadmiar tych pierwiastków może obniżyć jakość uzyskanego plonu i paszy. Celem badań było określenie zmian w zawartości potasu i magnezu w grochu siewnym (*Pisum sativum* L.) i w glebie pod wpływem zróżnicowanego nawożenia potasem, w warunkach bardzo wysokiej zasobności gleby w przyswajalny fosfor. W doświadczeniu polowym przeprowadzonym w latach 2010-2012 na poletkach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach uwzględniono siedem poziomów nawozowych: bez nawożenia; N; NK₁; NK₂; NK₃; NK₄; NK₅. Azot stosowano w dawce 20 kg·ha⁻¹ a potas w dawkach: K₁ – 41,5; K₂ – 83,0; K₃ – 124,0; K₄ – 166,0; K₅ – 207,5 kg·ha⁻¹. Na podstawie przeprowadzonych badań istotnie największą zawartość potasu (11,71 g·kg⁻¹ s.m.) i magnezu (1,28 g·kg⁻¹s.m.) oznaczono w nasionach grochu siewnego zebranych z poletek nawożonych N₂₀K₈₃. Największe ilości potasu (16,44 g·kg⁻¹ s.m.) nagromadziła słoma grochu nawożonego N₂₀K₁₆₆, a magnezu (2,88 g·kg⁻¹s.m.) nawożona N₂₀K₈₃. Potas i magnez w strączykach oraz korzeniach był niejednoznacznie zróżnicowany pod wpływem nawożenia azotowo-potasowego. Średnie zawartości potasu (w g·kg⁻¹s.m.) w roślinie testowej można przedstawić w malejącym szeregu: nasiona (10,81) > słoma (8,45) > strączyzny (7,59) > korzenie (3,07) a magnezu: strączyzny (2,93) > słoma (2,29) > korzenie (1,22) > nasiona (1,20). Całkowita zawartość potasu i magnezu w glebie kształtowała się na zbliżonym poziomie (K – 0,64-0,67; Mg – 0,74-0,79 g·kg⁻¹ gleby).

Słowa kluczowe: potas, magnez, antagonizm jonowy, groch siewny, gleba

WSTĘP

Groch siewny (*Pisum sativum* L.) jest podstawową rośliną uprawną z grupy roślin bobowatych. Duży wpływ na małą popularność uprawy grochu ma duża wrażliwość na warunki pogodowe, niestabilny poziom plonowania, zmienna opłacalność i mała konkurencyjność (Grabowska i in. 2007, Gugąła i Zarzecka 2010, Symanowicz i Kalembasa 2012). Decydujący wpływ na skład chemiczny grochu ma jakość gleby i nawożenie (Filipek 2001, Wilczewski 2007). Według Wanga i in. (2010) również system uprawy roli wpływa na zawartość potasu w nasionach grochu. W badaniach tych autorów największe ilości potasu oznaczono w nasionach grochu, który był uprawiany w systemie konwencjonalnym i uproszczonym. Niewłaściwe nawożenie może naruszyć równowagę składników pokarmowych w glebie i roślinie oraz pogorszyć jakość i ilość uzyskanego plonu. Romheld i Kirkby (2009, 2010) zwracają w swoich badaniach uwagę na konieczność zmiany podejścia do zagadnienia przyswajalności potasu i magnezu dla roślin i opracowania nowych testów glebowych dla tego składnika. Patorczyk-Pytlik (2009) podaje, że aż 59% analizowanych próbek paszy nie spełnia standardów optymalnej zawartości magnezu. Stosowanie dużych dawek jednego ze składników (potasu lub magnezu) może spowodować deficyt innego. Intensywne nawożenie grochu potasem może spowodować zmniejszone pobieranie magnezu, a w konsekwencji ciężką pastwiskową (Hołubowicz-Kliza 2006). Według Anke (1987), Falkowskiego i in. (2000) oraz Kabaty-Pendias i Pendias (1999) pasza dobrej jakości dla zwierząt powinna zawierać około $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ magnezu. W literaturze brakuje dostatecznych danych dotyczących ilościowych zmian zawartości potasu i magnezu w grochu siewnym i w glebie w warunkach zróżnicowanego nawożenia.

Celem badań było prześledzenie zmian w zawartości potasu i magnezu w grochu siewnym i w glebie pod wpływem wzrastających dawek potasu.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2010 i 2012 metodą całkowicie losową w czterech powtórzeniach na poletkach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach ($52^{\circ}17'N$, $22^{\circ}28'E$). W badaniach uwzględniono siedem poziomów nawozowych: bez nawożenia; N; NK₁; NK₂; NK₃; NK₄; NK₅. Azot stosowano w dawce $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Potas stosowano w dawkach: K₁ – 41,5; K₂ – 83,0; K₃ – 124,0; K₄ – 166,0; K₅ – 207,5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Doświadczenie polowe prowadzono na glebie o odczynie obojętnym (pH w 1 mol KCl·dm⁻³ – 7,04), o składzie granulometrycznym piasku gliniastego. Zasobność gleby (tab. 1) w przyswajalne formy fosforu oznaczona metodą Egnera-Riehma (DL) i magnezu oznaczona metodą Schachtschabela (Houba i in. 1990) określono jako bardzo wysoką, a w przyswajalny potas jako niską.

Tabela 1. Chemiczna charakterystyka badanej gleby
Table 1. Chemical characteristics of experimental soil

Lata Years	pH _{KCl}	pH _{CaCl2}	N-NH ⁺ ₄	N-NO ⁻ ₃	N _{tot}	C _{tot}	P	K	Mg
			mg·kg ⁻¹						
2010	7,04	6,64	20	290	2,0	27,2	230	83	98
2012	6,90	6,60	40	300	2,1	29,8	240	87	93

Nasiona grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) odmiany „Lasso” zaszczipione bakteriami *Rhizobium leguminosarum* wysiewano w ilości 125 sztuk na m², na głębokość 5-6 cm, w rozstawie rzędów 20 cm. Nawożenie azotowo-potasowe (saletra amonowa i sól potasowa) stosowano wiosną przed siewem nasion. W czasie wegetacji grochu wykonywano zabiegi pielęgnacyjne i pobierano próbki glebowe z poziomu Ap.

Roślinę testową, po zbiorze z poletek doświadczalnych wysuszono. Oddzielono nasiona, słomę, ziarno, strączyny i korzenie, a następnie pobrane średnie próbki zmielono w młynku laboratoryjnym. Próbki gleby po pobraniu zostały wysuszone, roztarte w moździerzu i przesiane przez sito o średnicy oczek 2 mm. W materiale roślinnym i glebowym oznaczono ogólną zawartość potasu i magnezu metodą ICP-AES na spektrometrze emisyjnym firmy Perkin Elmer model Optima 3200RL z indukcyjnie wzbudzaną plazmą (Szczepaniak 2005). Roztwory analityczne uzyskano po mineralizacji rośliny testowej oraz gleby w piecu muflowym, nastawionym na postępujące zwiększanie temperatury do 450°C, rozłożeniu węglanów i wydzieleniu krzemionki za pomocą HCl (1:1). Następnie po odparowaniu na łaźni piaskowej uzyskane chlorki przeniesiono do kolb miarowych w 10% roztworze HCl. Wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA), a istotne różnice wyznaczono za pomocą testu Tukey'a przy poziomie istotności p = 0,05 (Statistica Pl 10.1; Statsoft 2014).

Lata prowadzenia badań charakteryzowały się zmiennymi warunkami pogodowymi (tab. 2). Pod względem wilgotnościowym kolejne sezony wegetacyjne należały do wilgotnych. Suma opadów była większa od średniej wieloletniej o 94,2 mm w 2010 roku i o 23,8 mm w 2012 roku. Opady mniejsze od średnich z wielolecia stwierdzono w miesiącu kwietniu, czerwcu i lipcu w 2010 roku oraz w miesiącu lipcu i sierpniu w 2012 roku. Drugi okres wegetacyjny (2012) był najbardziej sprzyjający gromadzeniu potasu i magnezu w plonie grochu siewnego.

Średnie temperatury powietrza w okresach wegetacyjnych utrzymywały się na poziomie zbliżonym do średniej z wielolecia. Średnia miesięczna temperatura powietrza była tylko o 0,8°C wyższa od średniej z okresu wieloletniego. We wszystkich miesiącach wegetacji było cieplej, a tylko w miesiącu maju 2010 tem-

peratura powietrza utrzymywała się na poziomie średniej z wielolecia i w czerwcu 2012 była mniejsza o 0,2°C od średniej z wielolecia.

Tabela 2. Warunki meteorologiczne w latach prowadzenia badań 2010 i 2012. Dane ze stacji meteorologicznej w Siedlcach

Table 2. Meteorological conditions during the studies in 2010 and 2012. Data reported by the measurement centre in iedlce

Lata badań Research years	Miesiące – Months					Suma Średnia Sum Mean
	Kwiecień April	Maj May	Czerwiec June	Lipiec July	Sierpień August	
Opady miesięczne – Total monthly rainfalls (mm)						
2010	24,3	111,3	49,2	48,3	161,7	394,8
2012	40,3	59,7	118,7	41,4	64,1	324,2
Średnia wielolecia Multiyear average 1995-2009	31,7	53,1	67,9	75,3	72,4	300,4
Średnie miesięczne temperatury powietrza – Mean monthly air temperature (°C)						
2010	8,9	13,7	17,3	21,1	19,5	16,1
2012	9,0	14,5	16,4	20,4	18,0	15,7
Średnia wielolecia Multiyear average 1995-2009	8,4	13,7	16,6	18,9	17,9	15,1

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowane nawożenie potasowe w dawkach 41,5; 83,0; 124,5; 166,0 i 207,5 kg·ha⁻¹ istotnie różnicowało zawartość potasu w nasionach, słomie, strączynach i korzeniach grochu siewnego (tab. 3). Zawartość potasu oznaczona w grochu siewnym w kolejnych latach badań była istotnie zróżnicowana. Istotne zwiększenie potasu w nasionach w porównaniu do obiektu kontrolnego odnotowano po zastosowaniu nawozów potasowych w dawkach 83,0; 124,5 i 166 kg·ha⁻¹. Nasiona rośliny testowej zebrane w drugim roku badań (2012) zgromadziły większe ilości potasu (od 9,35 g·kg⁻¹ s.m. – obiekt kontrolny do 12,21 g·kg⁻¹ s.m. – obiekt nawożony N – 20 i K – 83 kg·ha⁻¹). Taka reakcja grochu na pobranie potasu w latach prowadzenia doświadczenia mogła być skutkiem korzystnego rozkładu opadów w okresie wegetacji (tab. 2). Uzyskane wyniki badań własnych znalazły potwierdzenie w badaniach Woźniak i in. (2014), w których przy nawożeniu grochu azotem 20 kg·ha⁻¹; fosforem 17,5 kg·ha⁻¹ i potasem 66,6 kg·ha⁻¹ oznaczono 10,33 g·kg⁻¹ potasu w suchej masie nasion grochu w konwencjonalnym systemie

Tabela 3. Zawartość potasu w grochu siewnym (g kg^{-1} s.m.)
Table 3. Content of potassium in pea (g kg^{-1} d.m.)

Nawożenie Fertilisation	Nasiona – Seeds			Słoma – Straw			Strączyzny – Pods			Korzenie – Roots		
	Lata badań – Research years											
	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean
0	8,54	9,35	8,94	11,52	4,32	7,92	3,94	8,13	6,03	5,76	2,60	4,18
N	8,97	10,68	9,82	8,18	7,27	7,72	4,10	5,36	4,73	3,76	2,41	3,08
NK ₁	8,31	10,87	9,59	11,69	7,09	9,39	3,98	6,99	5,48	5,74	4,48	5,11
NK ₂	8,75	12,21	10,48	7,68	6,10	6,89	3,86	6,77	5,31	3,42	2,77	3,09
NK ₃	8,88	11,27	10,07	8,73	5,34	7,03	5,00	6,84	5,92	4,79	3,37	4,07
NK ₄	9,59	10,58	10,08	13,90	16,45	15,17	5,53	9,36	7,44	5,62	3,49	4,55
NK ₅	8,59	10,69	9,64	6,63	12,61	9,61	3,48	8,68	6,08	3,44	2,39	2,91
Średnia Mean	8,80	10,81	9,80	9,76	8,45	9,10	4,27	7,45	5,86	4,64	3,07	3,86
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:												
lat – years (A)			0,36			0,33			0,43			0,35
nawożenia – fertilisation (B)			1,08			0,98			1,28			1,03
interakcji – interaction (AxB)			0,96			0,87			1,14			0,92
(BxA)			1,52			1,38			1,81			1,46

N – 20; K₁ – 41,5; K₂ – 83; K₃ – 124; K₄ – 166; K₅ – 207,5 kg ha^{-1} ; n = 3.

uprawy. Istotnie najwięcej potasu w słomie i strączynach grochu oznaczono po zastosowaniu soli potasowej w dawce $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W pierwszym roku prowadzenia doświadczenia w słomie odnotowano istotnie więcej potasu, natomiast w strączynach w drugim roku badań. Najwięcej potasu oznaczono w korzeniach grochu pod wpływem dawki $41,5 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia. Średnia zawartość potasu w grochu siewnym przedstawiała się następująco (w $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.): nasiona (9,8) > słoma (9,1) > strączyny (5,86) > korzenie (3,86).

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano istotny wpływ zróżnicowanego nawożenia potasem na zawartość magnezu w słomie, strączynach i korzeniach grochu (tab. 4). Lata badań istotnie wpłynęły na zmiany w zawartości magnezu w nasionach, słomie, strączynach i korzeniach rośliny testowej. Największe ilości magnezu oznaczono w strączynach ($2,66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), zaś najmniejsze w nasionach grochu siewnego ($1,19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). Zbliżone zawartości magnezu w strączynach ($2,27$ - $2,87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) odnotowano w badaniach z rutwicą wschodnią uprawianą w tych samych warunkach glebowych, bez nawożenia magnezem (Symanowicz i Kalembasa 2012). Zastosowane nawożenie potasowe w dawkach $124,5$; 166 i $207,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wpłynęło istotnie na zmniejszenie magnezu w strączynach, słomie i korzeniach w porównaniu do obiektu kontrolnego. Taka reakcja grochu siewnego na pobieranie magnezu była skutkiem wystąpienia antagonizmu jonowego i zwiększonym pobraniem potasu przez groch siewny. Zawartość magnezu w nasionach grochu wykazywała tendencję wzrostową pod wpływem wzrastających dawek potasu w przedziale od $41,5$ do $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Według Woźniak i in. (2014) zawartość magnezu w nasionach grochu nie zależała od systemu uprawy i lat badań ($0,86$ - $1,02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.). W badaniach przeprowadzonych w USA, w których uprawiano groch siewny różnych genotypów (Amarakoon i in. 2012) oznaczono zbliżone ($1,35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) zawartości magnezu w nasionach grochu. W drugim roku badań własnych stwierdzono istotnie większą zawartość Mg w nasionach, słomie i strączynach oraz mniejszą w korzeniach grochu. Należy przypuszczać, że korzystny rozkład opadów i temperatur podczas wegetacji w 2012 roku przyczynił się do przemieszczenia większych ilości magnezu z korzeni do części nadziemnej rośliny testowej. Współdziałanie zróżnicowanego nawożenia potasowego i lat badań istotnie wpłynęło na zmiany zawartości magnezu w nasionach, słomie i korzeniach grochu.

Nawożenie potasowe korzystnie wpłynęło na zmianę stosunku K:Mg w nasionach i słomie (tab. 5). Optymalny stosunek K:Mg w nasionach grochu wynosi 6:1 (Anke 1987, Jamroz i in. 2001), a w słomie 3:1. Zawartość analizowanych składników w roślinie testowej decydowała o ich wzajemnych stosunkach. Nawożenie potasowe $83 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w formie soli potasowej w drugim roku badań ukształtowało stosunek K:Mg w nasionach na optymalnym poziomie (6,2:1). Większa zawartość magnezu w słomie i strączynach grochu spowodowała zmniejszenie stosunku K:Mg w tych

częściach rośliny. Obliczony stosunek molarny K:Mg w słomie grochu siewnego kształtował się na poziomie zbliżonym do wyników badań uzyskanych dla łądyg (słomy) rutwicy wschodniej (Symanowicz i Kalembasa 2004).

Tabela 4. Zawartość magnezu w grochu siewnym ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)
Table 4. Content of magnesium in pea ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

Nawożenie Fertilisation	Nasiona – Seeds			Słoma – Straw			Strączyny – Pods			Korzenie – Roots		
	Lata badań – Research years											
	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean
0	1,23	1,13	1,18	2,02	2,52	2,26	2,53	3,14	2,83	1,84	1,74	1,78
N	1,20	1,20	1,20	1,75	2,53	2,13	2,72	3,24	2,98	1,93	0,87	1,40
NK ₁	1,16	1,22	1,19	1,71	2,75	2,23	2,34	2,98	2,65	1,69	1,58	1,63
NK ₂	1,14	1,28	1,21	1,86	2,88	2,37	2,52	2,96	2,73	1,75	1,75	1,75
NK ₃	1,20	1,23	1,21	1,66	2,19	1,92	2,37	2,50	2,43	1,68	1,02	1,35
NK ₄	1,20	1,23	1,21	1,59	1,58	1,58	2,52	3,06	2,79	1,58	0,79	1,18
NK ₅	1,14	1,19	1,16	1,50	1,60	1,55	2,10	2,31	2,20	1,55	0,79	1,17
Średnia Mean	1,18	1,21	1,19	1,72	2,29	2,01	2,44	2,88	2,66	1,71	1,22	1,47
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:												
lat – years (A)	0,02			0,09			0,12			0,07		
nawożenia – fertilisation (B)	n.i.			0,28			0,35			0,22		
interakcji – interaction (AxB)	0,06			0,25			n.i.			0,20		
	(BxA) 0,09			0,40			n.i.			0,32		

N – 20; K₁ – 41,5; K₂ – 83; K₃ – 124; K₄ – 166; K₅ – 207,5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ n = 3

Tabela 5. Stosunki molarne K : Mg w nasionach, słomie i strączynach grochu siewnego
Table 5. Molar ratios K : Mg in seeds, straw and pods of pea

Nawożenie Fertilisation	Nasiona – Seeds			Słoma – Straw			Strączyny – Pods					
	Lata badań – Research years											
	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean			
0	4,4	4,8	4,6	3,6	1,1	2,3	1,0	1,6	1,3			
N	4,6	5,4	5,0	3,0	1,9	2,4	0,9	1,1	1,0			
NK ₁	4,2	5,6	4,9	4,3	1,6	2,9	1,0	1,5	1,2			
NK ₂	4,4	6,2	5,3	4,5	1,3	2,9	1,0	1,4	1,2			
NK ₃	4,6	5,8	5,2	3,1	1,5	2,3	1,3	1,7	1,5			
NK ₄	4,8	5,4	5,1	3,6	2,7	3,1	1,4	1,8	1,6			
NK ₅	4,4	5,4	4,9	2,8	2,4	2,6	1,0	2,2	1,1			
Średnia – Mean	4,4	5,6	5,0	3,5	1,8	2,6	1,1	1,6	1,3			

N – 20; K₁ – 41,5; K₂ – 83; K₃ – 124; K₄ – 166; K₅ – 207,5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Na podstawie obliczeń statystycznych wykazano istotne różnice w zawartości potasu w poziomie Ap gleby pod wpływem nawożenia potasowego w kolejnych latach badań (tab. 6). Oznaczona zawartość K w glebie wynosiła od 0,69 do 0,71 g·kg⁻¹. Istotne zwiększenie potasu w glebie w odniesieniu do obiektu kontrolnego odnotowano w glebie pobranej z poziomu Ap w kwietniu, maju i czerwcu nawożonej 124, 166 i 207,5 kg·ha⁻¹. Istotnie więcej potasu w glebie oznaczono w pierwszym (2010) roku prowadzenia doświadczenia. Miało to związek z mniejszym pobraniem tego składnika przez roślinę testową. Pakuła i Kalembasa (2012) w badaniach gleb pływowych opadowo-glejowych i deluwialnych Wysoczyzny Siedleckiej oznaczyli nieznacznie większe ilości potasu i magnezu.

Tabela 6. Całkowita zawartość potasu w glebie (g·kg⁻¹) w czasie wegetacji grochu siewnego
Table 6. Total content of potassium in the soil (g kg⁻¹) during pea vegetation

Nawożenie Fertilisation	Terminy pobierania próbek gleby – Soil sampling dates											
	Kwiecień – April			Maj – May			Czerwiec – June			Lipiec – July		
	Lata badań – Research years											
	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Mean	2010	2012	Średnia Mean
0	0,59	0,60	0,59	0,72	0,67	0,69	0,67	0,63	0,65	0,80	0,61	0,70
N	0,70	0,67	0,68	0,64	0,71	0,67	0,63	0,66	0,64	0,66	0,63	0,64
NK ₁	0,73	0,64	0,68	0,71	0,64	0,67	0,65	0,60	0,62	0,69	0,61	0,65
NK ₂	0,73	0,61	0,67	0,61	0,60	0,60	0,78	0,55	0,66	0,77	0,59	0,68
NK ₃	0,77	0,58	0,67	0,84	0,68	0,75	0,71	0,60	0,65	0,84	0,58	0,71
NK ₄	0,80	0,88	0,84	0,66	0,73	0,69	0,86	0,80	0,83	0,88	0,73	0,80
NK ₅	0,83	0,73	0,78	0,97	0,66	0,81	0,81	0,71	0,76	0,92	0,71	0,81
Średnia Mean	0,73	0,67	0,70	0,73	0,67	0,70	0,73	0,65	0,69	0,79	0,63	0,71
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:												
lat – years (A)			0,05			0,03			0,03			0,04
nawożenia – fertilisation (B)			0,16			0,10			0,08			0,13
interakcji – interaction (AxB)			n.i.			0,09			0,07			n.i.
			(AxB) n.i.			0,15			0,11			n.i.

N – 20; K₁ – 41,5; K₂ – 83; K₃ – 124; K₄ – 166; K₅ – 207,5 kg·ha⁻¹; n = 3.

Głównym źródłem magnezu w glebie w przeprowadzonych badaniach były rezerwy tego pierwiastka w glebie i resztki po zbiorze grochu w pierwszym roku badań. Całkowita zawartość magnezu kształtowała się na niskim poziomie i była istotnie zróżnicowana pod wpływem nawożenia potasowego w kolejnych latach badań oraz dla współdziałania badanych czynników (tab. 7). Największą zawartością magnezu (1,05 g·kg⁻¹) charakteryzowała się gleba pobrana w lipcu w 2010 roku z poletek nawożonych N – 20 i K – 124 kg·ha⁻¹. Uzyskane wyniki badań własnych znalazły potwierdzenie w badaniach Żarczyńskiego i in. (2008).

Tabela 7. Całkowita zawartość magnezu w glebie ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w czasie wegetacji grochu siewnego
Table 7. Total content of magnesium in the soil ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) during pea vegetation

Nawożenie Fertilisation	Terminy pobierania próbek gleby – Soil sampling dates											
	Kwiecień – April			Maj – May			Czerwiec – June			Lipiec – July		
	Lata badań – Research years											
	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean	2010	2012	Średnia Mean
0	0,69	0,69	0,69	0,76	0,83	0,79	0,73	0,84	0,78	0,90	0,78	0,84
N	0,73	0,91	0,82	0,81	0,93	0,87	0,67	0,88	0,77	0,81	0,83	0,82
NK ₁	0,77	0,70	0,73	0,76	0,75	0,75	0,72	0,70	0,70	0,83	0,67	0,75
NK ₂	0,76	0,73	0,74	0,69	0,71	0,70	0,75	0,73	0,74	0,82	0,70	0,76
NK ₃	0,74	0,70	0,72	0,62	0,72	0,67	0,79	0,66	0,72	1,05	0,59	0,82
NK ₄	0,79	1,03	0,91	0,80	0,88	0,84	0,77	0,99	0,88	0,91	0,93	0,92
NK ₄	0,64	0,80	0,72	0,79	0,68	0,73	0,67	0,70	0,68	0,89	0,72	0,80
Średnia Mean	0,73	0,79	0,76	0,74	0,78	0,76	0,73	0,78	0,75	0,88	0,74	0,81
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} dla – for:												
lat – years (A)			0,04			0,04			0,03			0,04
nawożenia – fertilisation (B)			0,12			0,11			0,10			0,11
interakcji – interaction (AxB)			0,10			0,10			0,09			0,10
			(AxB) 0,17			0,16			0,14			0,16

N – 20; K₁ – 41,5; K₂ – 83; K₃ – 124; K₄ – 166; K₅ – 207,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; n = 3.

Rozpatrując kolejne lata badań, należy stwierdzić, że w 2012 roku oznaczono istotnie więcej magnezu w próbkach gleby pobranych w kwietniu, maju i czerwcu niż w analogicznych miesiącach 2010 roku. Dodatkowym źródłem magnezu w glebie w 2012 roku były przedplonowe resztki pozbiorowe. Również w badaniach Hajduka i in. (2009) stwierdzono, że zawartość K i Mg w glebie lekkiej wytworzonej z piasku gliniastego, w wyniku uprawy roślin bobowatych (grochu, bobiku, wyki i lędźwianu w siewie czystym i mieszanym ze zbożami) nie zmniejszała się w kolejnych latach prowadzenia badań.

WNIOSKI

1. Istotnie największe zawartości potasu i magnezu oznaczono w nasionach grochu siewnego zebranego z obiektu nawozowego N – 20; K – 83 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.
2. Najwięcej potasu zawierała słoma z poletek nawożonych N – 20 i K – 166, a magnezu N – 20 i K – 83 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.
3. Nawożenie azotowo- potasowe (N – 20; K – 166 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości potasu w strączynach grochu. Istotnie najmniejszą zawartość potasu oznaczono w korzeniach grochu siewnego nawożonego potasem w dawce

207,5 kg·ha⁻¹. Zawartość Mg w strączynach zmniejszała się istotnie pod wpływem nawożenia K – 124 i K – 207,5 kg·ha⁻¹ w odniesieniu do obiektu kontrolnego.

4. Całkowita zawartość potasu (0,69-0,71 g·kg⁻¹) i magnezu (0,75-0,81 g·kg⁻¹) w glebie kształtowała się na zbliżonym poziomie.

5. Dla osiągnięcia optymalnego stosunku K:Mg w nasionach grochu należy zastosować nawożenie azotowo-potasowe w dawce N – 20 i K – 83 kg·ha⁻¹.

PIŚMIENNICTWO

- Amarakoon D., Thavarajah D., McPhee K., Thavarajah P., 2012, Iron, zinc and magnesium – rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *J., Food., Compos., Anal.*, 27, 8-13.
- Anke M., 1987. *Kolloquien des Instituts für Pflanzenernährung*. Jena, 2, 110-111.
- Falkowski M., Kukułka I., Kozłowski S., 2000. *Właściwości chemiczne roślin łąkowych*. Wyd. AR Poznań.
- Filipek T., 2001. Wpływ zakwaszenia na zawartość potasu i magnezu oraz stosunek K:Mg w glebach i roślinach zbożowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 480, 43-49.
- Grabowska K., Grabowski J., Dragańska E., Słoń J., 2007. Wpływ warunków termicznych i wilgotnościowych na przebieg faz fenologicznych grochu siewnego w północno-środkowej Polsce. *Acta Agrophysica*, 9(3), 623-633.
- Gugała M., Zarzecka K., 2010. The effect of weed control methods on magnesium and calcium content in edible pea seeds (*Pisum sativum* L.). *J. Elem.*, 15(2), 269-280.
- Hajduk E., Kaniuczak J., Szpunar-Krok., 2009. Zawartość K, Mg i Ca w glebach po uprawie roślin motylkowatych. *Zesz. Nauk., Połud.-Wsch., Oddz., Pol., Towarz., Inż., Ekolog.*, 11, 15-24.
- Hołubowicz-Kliza G., 2006. *Wapnowanie gleb w Polsce*. Wyd. IUNG-PIB Puławy.
- Houba V.J.G., Novozamsky I., Lexmond TH. M., Lee J.J., 1990. Applicability of 0,01 M CaCl₂ as a single extractant for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Commun. In. Soil Sci. Plant Analysis*, 21, 2281-2290.
- Jamroz D., Buraczewski S., Kamiński J., 2001. *Żywienie zwierząt i paszoznawstwo*. Cz. 1. Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt. PWN Warszawa.
- Johnston A.E., 2009. Potassium, magnesium and soil fertility: Long term experimental evidence. *Nawozy i Nawożenie*, 34, 85-125.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków*. PWN Warszawa.
- Pakuła K., Kalembasa D., 2012. Makroelementy w glebach ornych Wysoczyzny Siedleckiej. *Acta Agrophysica*, 19(4), 803-814.
- Patorczyk-Pytlik B., 2009. Zawartość potasu i magnezu w roślinach użytków zielonych okolic Wrocławia. *Nawozy i Nawożenie*, 43, 226-228.
- Romheld V., Kirkby E. A., 2009. Magnesium functions in crop nutrition and yield. *Nawozy i Nawożenie*, 34, 163-183.
- Romheld V., Kirkby E. A., 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil*, 335, 155-180.
- Statsoft Inc., 2014. *Statistica (data analysis Software system)*, version 10 PL.
- Symanowicz B., Kalembasa S., 2004. "Goat's rue" (*Galega orientalis* Lam.) – a plant with many agricultural uses. Part II. The influence of inoculation on the seed of *Galega orientalis* vis-à-vis the content of their macroelements and mutual ratios., *Polish J. Soil Sci.*, 37(1), 11-20.

- Symanowicz B., Kalembasa S., 2012. Changes of calcium and magnesium content in biomass of goat's rue (*Galega orientalis* Lam.) during vegetation. *Ecol. Chem. And Engin.*, A. 19(7), 689-698.
- Szczepaniak W., 2005. Metody instrumentalne w analizie chemicznej. PWN Warszawa, 165-168.
- Wang N., Hatcher D. W., Warkentin T. D., Toews R., 2010. Effect of cultivar and environment on physicochemical and cooking characteristics of field pea (*Pisum sativum*). *Food Chem.*, 118, 109-115.
- Wilczewski E., 2007. Wartość wybranych roślin motylkowatych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym na glebie lekkiej. Cz. II. Skład chemiczny i akumulacja makroskładników. *Acta Sci. Pol. Agricult.*, 6(1), 35-44.
- Woźniak A., Soroka M., Stepniowska A., Makarski B., 2014. Chemical composition of pea (*Pisum sativum* L.) seeds depending on tillage systems. *J. Elem.*, 13(3), 1143-1152.
- Żarczyński P., Sienkiewicz P., Krzebietke S., 2008. Accumulation of macroelements in plants on newly established fallows. *J. Elem.*, 13(3), 455-461.

THE INFLUENCE OF DIFFERENT POTASSIUM FERTILISATION
ON CHANGES IN THE CONTENT OF SELECTED MACRONUTRIENTS
IN *PISUM SATIVUM* L. AND SOIL

Barbara Symanowicz, Stanisław Kalembasa, Martyna Toczko

Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Institute of Agronomy,
Faculty of Life Sciences University of Natural Sciences and Humanities in Siedlce
ul. Prusa 14, 08 110 Siedlce
e-mail: barbara.symanowicz@uph.edu.pl

Abstract. Potassium and magnesium are macronutrients necessary for plant growth and development. The contents of these elements in plant and soil should be monitored, because during their uptake from the soil by the plant root system ionic antagonism can occur. A deficiency or excess of these elements reduces the quality of the resulting yield and feed. The aim of the study was to determine changes in the content of magnesium and potassium in pea (*Pisum sativum* L.) and in soil under the influence of different potassium fertilisation under conditions of very high level of available phosphorus in the soil. The univariate field experiment conducted in 2010-2012 at the experimental plots of the University of Natural Sciences and Humanities in Siedlce included seven levels of fertilisation: no fertilisation; N; NK₁; NK₂; NK₃; NK₄; NK₅. Nitrogen was applied at 20 kg ha⁻¹, potassium in doses of K₁–41.5; K₂–83; K₃–124; K₄–166 and K₅–207.5 kg ha⁻¹. Based on the study, significantly the highest contents of potassium (11.71 g kg⁻¹ d.m.) and magnesium (1.28 g kg⁻¹ d.m.) were determined in pea seeds harvested from plots fertilised with N₂₀K₈₃. The stems of plants fertilised with N₂₀K₈₃ accumulated the largest amounts of magnesium (2.88 g kg⁻¹ d.m.), while the straw of plants fertilised with N₂₀K₁₆₆ accumulated the highest levels of potassium (16.44 g kg⁻¹ d.m.). Potassium and magnesium in pods and roots was ambiguously differentiated under the influence of nitrogen-potassium fertilisation. Average potassium content (in g kg⁻¹ d.m.) in the test plant can be presented in the descending sequence: seeds (10.81) > stem (8.45) > pods (7.59) > roots (3.07), and that of magnesium: pods (2.93) > stem (2.29) > roots (1.22) > seed (1.20). The total content of potassium and magnesium in the soil remained at a similar level (K–0.64-0.67 and Mg–0.74-7.90 g kg⁻¹ soil).

Keywords: potassium, magnesium, ion antagonism, pea, soil