

STANISŁAW KALEMBASA¹**BARBARA SYMANOWICZ**¹**DAWID JAREMKO**¹**WOJCIECH SKORUPKA**²¹ Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej² Studia doktoranckie, Wydział Przyrodniczy, Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce

Wpływ nawożenia fosforowo-potasowego rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) na zawartość żelaza, molibdenu, miedzi w roślinie i glebie oraz na pobranie azotu

The influence of phosphorus and potassium fertilization on the content of iron, molybdenum, copper in goat's rue (*Galega orientalis* Lam.) biomass and in soil as well as on the nitrogen uptake

W pracy przedstawiono zmiany zawartości żelaza, molibdenu, miedzi w glebie i w biomase rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) uprawianej w latach 2005–2007 oraz w pobraniu azotu z plonem rośliny testowej. Doświadczenie polowe prowadzono w Rolniczej Stacji Doświadczalnej, należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. W badaniach uwzględniono sześć obiektów nawozowych PK. W każdym roku badań zbierano trzy pokosy rośliny testowej w fazie pąkowania. Zawartość całkowitą Fe, Mo i Cu w roślinie i glebie oznaczono metodą ICP-AES na spektrofotometrze emisyjnym z plazmą wzbudzaną indukcyjnie. Obliczono także pobranie azotu z plonem biomasy rośliny testowej. Nawożenie fosforowo-potasowe wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości żelaza w biomase rutwicy wschodniej. Najwięcej żelaza oznaczono w roślinie testowej nawożonej dawką K₁₀₀, molibdenu pod wpływem nawożenia dawką P₅₀K₂₀₀. Kolejne dawki nawożenia PK (wyjątek P₅₀) powodowały obniżanie zawartości miedzi w biomase rutwicy wschodniej. Największe pobranie azotu przez rutwicę wschodnią w ciągu okresu wegetacyjnego (345 kg N·ha⁻¹) uzyskano pod wpływem nawożenia P₅₀K₂₀₀. Najwięcej żelaza, molibdenu i miedzi oznaczono w glebie nawożonej dawką P₅₀K₂₅₀.

Słowa kluczowe: azot, miedź, molibden, nawożenie PK, rutwica, żelazo

The paper presents the changes in iron, molybdenum and copper in soil and in biomass of goat's rue cultivated in 2005–2007 and in nitrogen uptake from the yield test plant. The experiment was conducted in the Agricultural Experimental Station, belonging to the Siedlce University of Natural Sciences and Humanities. The study included six objects with variable PK fertilization. The test plants were harvested three times at the stage of budding in each year of the study. The total contents of Fe, Mo and Cu in the plant and soil were determined by emission spectrophotometer with inductively

coupled plasma (ICP-AES). We calculated also nitrogen uptake per yield of plant biomass. Phosphorus-potassium fertilization significantly influenced the increase in iron content in the biomass of the goat's rue. The biggest amount of iron was detected in a test plant fertilized with dose K_{100} and the biggest amount of molybdenum - under the influence of fertilization doses $P_{50}K_{200}$. Other doses of fertilizer PK (except dose P_{50}) caused a reduction in copper content in the goat's rue biomass. The largest nitrogen uptake by goat's rue within the growing season ($345 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$) was obtained under the influence of fertilization $P_{50}K_{200}$. The biggest amounts of iron, molybdenum and copper were determined in soil fertilized with $P_{50}K_{250}$ dose.

Key words: copper, iron, molybdenum, nitrogen, PK fertilization, goat's rue

WSTĘP

Rutwica wschodnia (*Galega orientalis* Lam.) jest wieloletnią rośliną bobowatą pochodzącą z Kaukazu. Od wielu lat jest uprawiana również w Polsce. Można ją wykorzystywać jako paszę dla zwierząt w formie zielonki, siana, suszu, kiszonki i koncentratu białkowego. Jest bogatym źródłem makro- i mikroelementów (Kalembasa i Symanowicz, 2009, 2009 a; Raig i in., 2001; Symanowicz i Kalembasa, 2004). Rutwica wschodnia po wieloletniej uprawie może być dobrym również przedplonem dla pszenicy ozimej (Ignaczak i Szczepanek, 2005). W badaniach przeprowadzonych na Podlasiu z wykorzystaniem izotopu ^{15}N określono duże możliwości biologicznej redukcji N_2 przez rutwicę wschodnią — $379,7 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ w ciągu okresu wegetacyjnego (Symanowicz i in., 2005), po wprowadzeniu do gleby bakterii *Rhizobium galegae* (Andrzejewska i Ignaczak, 2001; Borowiecki, 2004; Kalembasa, 1995; Peoples i in., 1995; Reichel i in., 1984; Vanace, 1998). Uprawa roślin bobowatych wieloletnich w warunkach Polski jest bardzo ważna ze względu na wysokie wartości współczynników reprodukcji materii organicznej: od +0,89 dla gleb lekkich i bardzo lekkich do +2,10 dla gleb ciężkich (Zawiślak i Rychcik, 2002); produkcję paszy wysokobiałkowej oraz ze względów ekonomicznych (wysokie ceny nawozów azotowych). Decydujący wpływ na plon i skład chemiczny biomasy tych roślin mają następujące czynniki: gleba, warunki atmosferyczne, nawożenie, faza rozwojowa, rok uprawy i duża odporność na choroby grzybowe i wirusowe (Valkonen, 1993; Virkajärvi i Varis, 1991). Z literatury znany jest fakt, że obecność w glebie i roślinie Fe, Mo i Cu związana jest z procesem biologicznej redukcji N_2 (Ruszkowska i in., 1996). Brakuje jednak danych dotyczących jakościowych i ilościowych zmian zawartości tych pierwiastków w biomacie rutwicy wschodniej i w glebie, w warunkach zróżnicowanego nawożenia mineralnego.

Celem przedstawionych badań było określenie wpływu nawożenia fosforem i potasem na zmiany w zawartości żelaza, molibdenu i miedzi w biomacie rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) i w glebie oraz pobranie azotu z plonem biomasy rośliny testowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe trzyletnie przeprowadzono w latach 2005–2007 na plantacji założonej w 1997 roku na polach Stacji Doświadczalnej należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach ($52^{\circ}17'N$, $22^{\circ}28'E$). Gleba, na której uprawiano rutwicę wytworzona była z piasku gliniastego (LS) i charakteryzowała się

odczynnem obojętnym. Zawartość całkowita makroelementów w glebie ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) wynosiła: C — 31,1; N — 2,18; P — 1,03; K — 0,83; Ca — 7,01; Mg — 0,81; Na — 0,23; S — 0,45. Zasobność w przyswajalny fosfor i potas oznaczoną metodą Egnera-Riehma określono jako średnią, a zasobność w przyswajalny magnez oznaczony metodą Schachtschabela jako niską. W badaniach uwzględniono następujące obiekty nawozowe: obiekt kontrolny, P_{50} , K_{100} , $\text{P}_{50}\text{K}_{150}$, $\text{P}_{50}\text{K}_{200}$, $\text{P}_{50}\text{K}_{250}$. Nawozy fosforowe w formie superfosfatu potrójnego stosowano jesienią, a potasowe w formie soli potasowej 60% stosowano w dwóch dawkach (wczesną wiosną i po I pokosie).

Dane dotyczące opadów i temperatur powietrza w sezonach wegetacyjnych 2005–2007 podano w tabeli 1. Średnia miesięczna temperatura w kolejnych okresach wegetacyjnych kształtowała się na zbliżonym poziomie ($15,0^{\circ}\text{C}$ do $15,8^{\circ}\text{C}$) i była znacznie wyższa w stosunku do danych z wielolecia. Średnia suma opadów w okresie wegetacji była niższa w odniesieniu do sumy wieloletniej. Tylko w 2006 roku była nieznacznie wyższa (o 15,5 mm). Wynikało to z dużej ilości opadów w sierpniu, przekraczających 3-krotnie średnią z wielolecia.

Tabela 1

Warunki meteorologiczne w okresie prowadzenia badań 2005–2007. Dane IMGW z punktu pomiarowego w Siedlcach
Meteorological conditions during the studies 2005–2007. IMGW (Institute of Meteorology and Water Management — National Research Institute) data from the measurement centre in Siedlce

Lata Years	Miesiące Months						Średnia Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) — Air temperature ($^{\circ}\text{C}$)							
2005	8,6	13,0	15,9	20,2	17,5	15,0	15,0
2006	8,4	13,6	17,2	22,3	18,0	15,4	15,8
2007	8,3	14,5	18,2	18,5	18,6	13,1	15,2
Średnia — Mean 1981–1995	7,7	10,0	16,1	19,3	18,0	13,0	11,4
Miesięczne sumy opadów (mm) — Total monthly rainfall (mm)							Suma — Sum
2005	12,3	64,7	44,4	86,5	45,4	15,8	268,8
2006	29,8	39,6	24,0	16,2	227,6	22,0	359,2
2007	21,2	59,1	59,9	70,2	31,1	67,6	309,1
Średnia — Mean 1981–1995	52,3	50,0	68,2	45,7	66,8	60,7	343,7

W każdym roku badań zbierano trzy pokosy rośliny testowej w fazie pąkowania w okresie: I pokos — 29 maja; II pokos — 29 lipca; III pokos 29 września. Obliczono pobranie azotu z plonem rutwicy. Podczas zbioru kolejnych pokosów zielonej masy rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) pobierano próby całych roślin rutwicy, które następnie wysuszono i rozdrobniono. Jesienią, w każdym roku badań pobierano również próby glebowe, które wysuszono i przesiano przez sito o średnicy oczek 1mm. Roztwory analityczne, uzyskano po mineralizacji biomasy rośliny testowej oraz gleby w piecu muflowym nastawionym na postępujące zwiększanie temperatury do 450°C . Po całkowitym utlenieniu organicznych związków w badanych próbach, popiół zawarty w tyglu zalano 5 cm^3 HCl (1:1) w celu rozłożenia węglanów, wydzielenia krzemionki oraz

uzyskania anionów kwasów nieorganicznych i chlorków badanych kationów. Nadmiar kwasu HCl odparowano na łaźni piaskowej do sucha. Zawartość tygla powtórnie zalano HCl (10%) i uzyskany roztwór przeniesiono do kolby miarowej o pojemności 100 cm³ przez twardy sączonek celem oddzielenia krzemionki. Zawartość na sączku trzykrotnie przemyto rozcieńczonym HCl, a zawartość kolby uzupełniono do kreski uzyskując roztwór analityczny. Zawartość całkowitą Fe, Mo i Cu w roślinie testowej i w glebie oznaczono metodą ICP-AES na spektrofotometrze emisyjnym z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (Szczepaniak, 2005).

Wyniki oznaczeń opracowano statystycznie wykorzystując analizę wariancji trzyczynnikowej (ANOVA), a istotne różnice obliczono wykorzystując test Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. W celu określenia zależności pomiędzy zawartością Fe, Mo i Cu a pobraniem N z plonem rośliny testowej obliczono współczynniki korelacji prostej r Pearsona (pakiet STATISTICA 9.1; StatSoft). Istotność stwierdzonych korelacji określono przez porównanie wartości empirycznych z wartościami krytycznymi r przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia zawartość żelaza w suchej masie rutwicy wschodniej zbieranej w fazie pąkowania wynosiła 171 mg·kg⁻¹ (tab. 2) i była istotnie zróżnicowana pomiędzy I i III oraz II i III pokosem.

Tabela 2

Zawartość żelaza (mg·kg⁻¹s.m.) w biomase rutwicy wschodniej
The content of iron (mg·kg⁻¹d.m.) in biomass of goat's rue

Nawożenie Fertilization	Pokosy — średnie z 3 lat Harvests — means of 3 years			Lata — średnie z 3 pokosów Years — means of 3 harvests			Średnio Mean 2005–2007
	I	II	III	2005	2006	2007	
0	135	148	173	175	143	137	152
P ₅₀	177	156	186	208	164	148	173
K ₁₀₀	190	176	185	194	201	156	184
P ₅₀ K ₁₅₀	176	172	170	210	155	154	173
P ₅₀ K ₂₀₀	182	156	172	218	142	150	170
P ₅₀ K ₂₅₀	155	169	204	200	160	167	176
Średnia — Mean	169	163	182	201	161	152	171

NIR_{0,05} — LSD_{0,05}; pokosy — harvests (P) — 6; lata — years (L) — 6; nawożenie — fertilization (N) — 11; L × P — 11; P × L — 11; N × P — 13; P × N — 11; N × L — 19; L × N — 15

W kolejnych latach badań oznaczano istotnie mniejsze zawartości żelaza. Nawożenie fosforowo-potasowe istotnie wpłynęło na zawartość żelaza w suchej masie rutwicy wschodniej. Kolejne wzrastające dawki potasu powodowały spadek zawartości żelaza w biomase rutwicy wschodniej. Największą ilość żelaza oznaczono w roślinie testowej nawożonej dawką 100 kg K·ha⁻¹. Uzyskane wyniki znalazły potwierdzenie w badaniach Kalembasy i Symanowicz (2009), w których badano zmiany zawartości żelaza w biomase rutwicy wschodniej w zależności od fazy rozwojowej i kolejnych lat uprawy. Również Kabata-Pendias, (2010) podaje, że zawartość żelaza zmienia się znacznie w okresie

wegetacji, w różnym stopniu w poszczególnych organach roślin. Dla roślin bobowatych zawartość ta może wynosić od 75 do 400 mg·kg⁻¹s.m. Oznaczona zawartość żelaza w biomacie rutwicy wschodniej zebranej w kolejnych pokosach, latach uprawy i z obiektów nawożonych PK mieściła się w zakresie liczb granicznych dopuszczalnej zawartości pierwiastków śladowych w paszy, a według Górlacha (1991) i Jamroz i in. (2001) była to zawartość optymalna.

Zawartość molibdenu oznaczona w roślinie testowej wynosiła średnio 3,42 mg·kg⁻¹ s.m. (tab. 3) i była istotnie zróżnicowana pod wpływem badanych czynników oraz ich współdziałania. Istotnie największą zawartość molibdenu oznaczono w biomacie rośliny testowej zebranej w III pokosie (4,02 mg·kg⁻¹s.m.), a także w 2005 roku (3,52 mg·kg⁻¹s.m.). Obliczenia statystyczne wykazały istotne różnice w zawartości molibdenu pomiędzy pokosami rutwicy wschodniej. Nawożenie PK istotnie wpłynęło na zmiany zawartości molibdenu w biomacie rośliny testowej. Nawożenie solą potasową w dawce K₁₀₀ spowodowało istotne obniżenie zawartości molibdenu w rutwicy wschodniej w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Największą zawartość Mo oznaczono w rutwicy nawożonej dawką P₅₀K₂₀₀. Uzyskane wyniki przekraczają optymalne i dopuszczalne poziomy zawartości molibdenu w paszy (Górlach, 1991; Kabata-Pendias, 2010; Ruskowska i Wojcieszka-Wyskupajtyś, 1996). Należy przypuszczać, że główną przyczyną podwyższonej zawartości molibdenu w biomacie rośliny testowej był odczyn gleby na poziomie obojętnego. Wzrasta wtedy rozpuszczalność i fitoprzyswajalność tego pierwiastka (Kabata-Pendias, 2010). Potwierdzeniem takiego wnioskowania są wyniki uzyskane przez Symanowicz i Kalembasę (2010 a), w doświadczeniu z kukurydzą, w której zawartość molibdenu w biomacie rośliny testowej kształtowała się na poziomie 0,89–0,96 mg·kg⁻¹s.m. przy pH gleby 5,3. Również Wysokiński i in. (2008) prowadząc badania na glebie o pH 4.0 oznaczyli zawartość molibdenu w kukurydzy na poziomie 0,57–0,68 mg·kg⁻¹s.m. i w słończniku pastewnym od 0,71 do 1,12 mg·kg⁻¹s.m.

Tabela 3

Zawartość molibdenu (mg·kg⁻¹s.m.) w biomacie rutwicy wschodniej
The content of molybdenum (mg·kg⁻¹d.m.) in biomass of goat's rue

Nawożenie Fertilization	Pokosy — średnie z 3 lat Harvests — means of 3 years			Lata — średnie z 3 pokosów Years — means of 3 harvests			Średnio Mean 2005–2007
	I	II	III	2005	2006	2007	
	0	2,77	3,43	3,44	2,92	3,53	
P ₅₀	3,65	3,17	3,91	3,30	3,56	3,87	3,58
K ₁₀₀	3,00	2,25	3,10	2,81	2,68	2,86	2,78
P ₅₀ K ₁₅₀	2,94	3,03	4,92	3,67	3,75	3,47	3,63
P ₅₀ K ₂₀₀	3,86	3,40	5,22	4,29	4,53	3,66	4,16
P ₅₀ K ₂₅₀	3,32	2,65	3,53	4,12	2,78	2,61	3,17
Średnia — Mean	3,26	2,99	4,02	3,52	3,47	3,28	3,42

NIR_{0,05} — LSD_{0,05}; pokosy — harvests (P) — 0,16; lata — years (L) — 0,16; nawożenie — fertilization (N) — 0,28; L × P — 0,28; P × L — 0,28; N × P — 0,35; P × N — 0,28; N × L — 0,49; L × N — 0,40

Badane czynniki istotnie różnicowały zawartość miedzi w biomacie rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) (tab. 4). Średnia zawartość miedzi wynosiła 6,75 mg·kg⁻¹s.m. Uzyskane wyniki potwierdziły wcześniejsze badania Symanowicz i in.,

(2004), które były prowadzone w zbliżonych warunkach glebowych. Istotnie największą zawartość tego pierwiastka oznaczono w roślinie testowej zebranej z I pokosom (9,67 mg·kg⁻¹s.m) oraz w 2007 roku (7,47 mg·kg⁻¹s.m) i taka zawartość mieściła się w zakresie optymalnym (Gorlach, 1991). Obliczenia statystyczne wykazały istotne obniżenie zawartości miedzi w roślinie testowej zebranej z obiektu nawozowego K₁₀₀, P₅₀K₁₅₀ i P₅₀K₂₀₀ w stosunku do zawartości Cu oznaczonej w rutwicy zebranej z obiektu P₅₀. Natomiast w odniesieniu do obiektu kontrolnego były to różnice nieistotne. Według Kabaty-Pendias (2010) i Jamroz i in. (2001) zawartość miedzi w roślinach na potrzeby paszowe, zwłaszcza dla przeżuwaczy powinna wynosić od 4,2 do 20,0 mg·kg⁻¹s.m.

Tabela 4

Zawartość miedzi (mg·kg⁻¹s.m.) w biomase rutwicy wschodniej
The content of copper (mg·kg⁻¹d.m.) in biomass of goat's rue

Nawożenie Fertilization	Pokosy — średnie z 3 lat Harvests — means of 3 years			Lata — średnie z 3 pokosów Years — means of 3 harvests			Średnio Mean 2005–2007
	I	II	III	2005	2006	2007	
0	9,93	6,17	4,43	7,31	5,84	7,39	6,85
P ₅₀	10,13	6,20	5,07	7,53	6,26	7,60	7,13
K ₁₀₀	9,26	5,66	4,85	6,37	5,99	7,40	6,59
P ₅₀ K ₁₅₀	9,30	5,19	5,15	6,51	5,99	7,14	6,55
P ₅₀ K ₂₀₀	9,62	5,03	5,15	6,03	6,49	7,28	6,60
P ₅₀ K ₂₅₀	9,75	5,45	5,20	5,59	6,81	7,99	6,80
Średnia — Mean	9,67	5,62	4,98	6,56	6,23	7,47	6,75

NIR_{0,05} — LSD_{0,05}; pokosy — harvests (P) — 0,29; lata — years (L) — 0,29; nawożenie — fertilization (N) — 0,50; L × P — 0,50; P × L — 0,50; N × P — 0,62; P × N — 0,50; N × L — 0,87; L × N — 0,71

Średnie pobranie azotu z plonem rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) w latach 2005–2007 wyniosło 278 kg·ha⁻¹ (tab. 5). Najwięcej azotu roślina testowa pobrała z plonem I pokosu zebrany w fazie pąkowania. Największe sumaryczne ilości azotu w trzech pokosach oznaczono w pierwszym roku badań (344 kg N·ha⁻¹).

Tabela 5

Pobranie azotu z plonem rutwicy wschodniej (kgN·ha⁻¹)
Uptake of nitrogen by the yield of goat's rue (kgN·ha⁻¹)

Nawożenie Fertilization	Pokosy — średnie z 3 lat Harvests — means of 3 years			Lata — średnie z 3 pokosów Years — means of 3 harvests			Średnio Mean 2005–2007
	I	II	III	2005	2006	2007	
0	140	54	40	267	230	179	226
P ₅₀	175	80	54	417	261	222	296
K ₁₀₀	156	58	58	328	235	221	259
P ₅₀ K ₁₅₀	155	82	72	407	254	262	305
P ₅₀ K ₂₀₀	206	77	77	415	326	304	345
P ₅₀ K ₂₅₀	130	56	52	228	212	252	232
Średnia — Mean	161	68	59	344	253	241	278

Rozpatrując nawożenie PK należy stwierdzić, że najwięcej azotu zgromadziła rutwica nawożona dawką P₅₀K₂₀₀. Uzyskane wyniki były zbliżone do wyników badań Symanowicz i in. (2005), w których ilość azotu biologicznie zredukowanego przez rutwicę zebraną w

fazie kwitnienia wynosiła 379,7 kg N·ha⁻¹. Przedstawione obliczenia wykonano na podstawie pracy Symanowicz i Kalembasa (2010).

W celu określenia wpływu zawartości żelaza, molibdenu, miedzi w glebie i roślinie na ilość azotu pobranego z plonem biomasy rutwicy wschodniej obliczono współczynniki korelacji prostej. Obliczone współczynniki korelacji wykazały istotną zależność (0,84*) między zawartością molibdenu w roślinie testowej (średnią z trzech lat prowadzenia badań) a ilością azotu pobranego z plonem oraz w drugim roku badań ($r = 0,88^*$). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono również istotną zależność między zawartością molibdenu ($r = 0,84^*$) w glebie w trzecim roku badań a ilością wyniesionego z plonem rutwicy wschodniej.

Średnia całkowita zawartość żelaza w glebie poziomu próchnicznego wynosiła 4625 mg·kg⁻¹ (tab. 6). Obliczenia statystyczne wykazały istotne zróżnicowanie zawartości Fe w glebie. W kolejnych latach prowadzenia doświadczenia zawartość żelaza w glebie istotnie się zmniejszała w odniesieniu do pierwszego roku badań (2005). W 2007 roku odnotowano 11% spadek zawartości żelaza w stosunku do roku 2005. Systematyczne zmniejszanie zawartości żelaza w glebie w kolejnych latach badań związane było z wynoszeniem tego składnika z plonem rośliny testowej. Rozpatrując wpływ kolejnych dawek PK na zawartość Fe w glebie należy stwierdzić istotne niesystematyczne zwiększanie zawartości żelaza w glebie w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Największą zawartość (4966 mg·kg⁻¹) oznaczono w glebie pobranej z obiektu nawozowego P₅₀K₂₅₀. Należy przypuszczać, że źródłem żelaza w glebie mogą być nawozy fosforowo-potasowe. Podobne zawartości żelaza w glebie oznaczono we wcześniejszych badaniach Kalembasy i Symanowicz (2009), w których analizowano inne gleby. Obliczone współczynniki korelacji wskazują na istotną dodatnią zależność ($r = 0,91^*$) między zawartością żelaza w glebie a zawartością żelaza w roślinie testowej w trzecim roku badań (2007).

Tabela 6

Zawartość żelaza (mg·kg⁻¹s.m.) w glebie
The content of iron in soil

Nawożenie Fertilization	Lata Years			Średnio Mean 2005–2007
	2005	2006	2007	
0	4149	4100	4016	4088
P ₅₀	5502	4516	4268	4762
K ₁₀₀	4811	4587	4467	4622
P ₅₀ K ₁₅₀	5064	5135	4537	4912
P ₅₀ K ₂₀₀	4688	4464	4054	4402
P ₅₀ K ₂₅₀	5134	4911	4852	4966
Średnia — Mean	4891	4619	4366	4625

NIR_{0,05} — LSD_{0,05}; lata — years (L) — 30; nawożenie — fertilization (N) — 53; N × L — 91; L × N — 73

Średnia zawartość molibdenu, którą oznaczono w glebie wynosiła 0,24 mg·kg⁻¹ i kształtowała się na niskim poziomie (tab. 7). Badane czynniki oraz ich współdziałanie istotnie różnicowało tę zawartość. Analiza statystyczna wykazała, istotnie największe ilości tego pierwiastka w glebie, pobranej po drugim i trzecim roku badań (0,25 mg·kg⁻¹). Pod wpływem kolejnych dawek nawożenia fosforowo-potasowego zawartość molibdenu

w systematycznie wzrastała i osiągnęła największą wartość ($0,29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) pod wpływem nawożenia $\text{P}_{50}\text{K}_{250}$. Obliczone współczynniki korelacji wskazują na istotną dodatnią zależność ($r = 0,85^*$) między zawartością molibdenu w glebie a zawartością żelaza w roślinie testowej w trzecim roku badań (2007) oraz zawartością molibdenu w glebie i w roślinie w 2005 roku ($r = 0,82^*$).

Tabela 7

Zawartość molibdenu ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w glebie
The content of molybdenum in soil

Nawożenie Fertilization	Lata Years			Średnio Mean 2005–2007
	2005	2006	2007	
0	0,21	0,22	0,20	0,21
P_{50}	0,20	0,26	0,24	0,23
K_{100}	0,18	0,26	0,24	0,23
$\text{P}_{50}\text{K}_{150}$	0,21	0,25	0,27	0,24
$\text{P}_{50}\text{K}_{200}$	0,25	0,26	0,28	0,26
$\text{P}_{50}\text{K}_{250}$	0,30	0,28	0,30	0,29
Średnia — Mean	0,22	0,25	0,25	0,24

$\text{NIR}_{0,05}$ — $\text{LSD}_{0,05}$; lata — years (L) — 0,01; nawożenie — fertilization (N) — 0,02; $\text{N} \times \text{L}$ — 0,04; $\text{L} \times \text{N}$ — 0,03

Oznaczona zawartość miedzi w glebie była istotnie zróżnicowana w kolejnych latach prowadzenia doświadczenia i pod wpływem kolejnych dawek nawozów fosforowo-potasowych oraz współdziałania badanych czynników (tab. 8).

Tabela 8

Zawartość miedzi ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w glebie
The content of copper in soil

Nawożenie Fertilization	Lata Years			Średnio Mean 2005–2007
	2005	2006	2007	
0	20,47	12,39	8,92	13,92
P_{50}	19,88	15,72	8,22	14,60
K_{100}	15,11	15,58	13,46	14,71
$\text{P}_{50}\text{K}_{150}$	19,65	19,40	12,06	17,03
$\text{P}_{50}\text{K}_{200}$	20,22	19,52	13,12	17,62
$\text{P}_{50}\text{K}_{250}$	20,62	18,60	14,07	17,76
Średnia — Mean	19,32	16,87	11,64	15,94

$\text{NIR}_{0,05}$ — $\text{LSD}_{0,05}$; lata — years (L) — 0,52; nawożenie — fertilization (N) — 0,91; $\text{N} \times \text{L}$ — 1,58; $\text{L} \times \text{N}$ — 1,27

Średnia zawartość miedzi w glebie wynosiła $15,94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Rozpatrując zmiany zawartości miedzi w kolejnych latach badań należy stwierdzić istotne obniżenie (o około 40%) w 2007 roku w odniesieniu do 2005 roku, co było związane z pobieraniem tego składnika z plonem rośliny testowej w kolejnych latach prowadzenia doświadczenia. Wykonane analizy gleby z poziomu próchnicznego wykazały istotny wzrost zawartości miedzi pod wpływem wzrastających dawek nawożenia fosforowo-potasowego. Największą zawartość Cu w glebie w odniesieniu do obiektu kontrolnego stwierdzono pod wpływem nawożenia $\text{P}_{50}\text{K}_{250}$ (o około 27,6%).

WNIOSKI

1. Wzrastające dawki nawozów fosforowo-potasowych wpłynęły istotnie na zwiększenie zawartości żelaza w biomacie rutwicy wschodniej w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Najwięcej żelaza oznaczono w roślinie testowej nawożonej dawką K₁₀₀.
2. Nawożenie rutwicy potasem K₁₀₀ istotnie obniżyło zawartość molibdenu. Pod wpływem nawożenia P₅₀K₂₀₀ roślina testowa nagromadziła największe ilości Mo.
3. Kolejne dawki nawożenia PK (z wyjątkiem P₅₀) powodowały obniżanie zawartości miedzi w biomacie rutwicy wschodniej.
4. Oznaczona zawartość żelaza i miedzi w biomacie rutwicy wschodniej mieściła się w optymalnym zakresie liczb granicznych określających dopuszczalne ilości pierwiastków śladowych w paszy, natomiast molibden występował w nadmiarze.
5. Największe pobranie azotu przez rutwicę wschodnią w ciągu okresu wegetacyjnego (345 kg N·ha⁻¹) uzyskano pod wpływem nawożenia P₅₀K₂₀₀. W kolejnych pokosach i latach badań pobranie azotu ulegało obniżeniu.
6. Najwięcej żelaza, molibdenu i miedzi oznaczono w glebie nawożonej dawką P₅₀K₂₅₀.

LITERATURA

- Andrzejewska J., Ignaczak S. 2001. Effectiveness of symbiosis between fodder Galega (*Galega orientalis* Lam.) and *Rhizobium galegae* on fallow land. EJPAU, S. Agronomy 4 (2).
- Borowiecki J. 2004. Nowe aspekty symbiotycznego wiązania azotu. Post. Nauk Roln. 2: 9 — 18.
- Gorlach E. 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 34 (262): 13 — 22.
- Ignaczak S., Szczepanek M. 2005. Wartość przedplonowi rutwicy wschodniej dla pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol. 507: 245 — 251.
- Jamroz D., Buraczewski S., Kamiński J. 2001. Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo. Cz. 1 Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 437 s.
- Kabata-Pendias A. 2010. Trace elements in soils and plants. (4th ed.) CRC Press.: 548 p.
- Kalembasa S. 1995. Zastosowanie izotopów ¹⁵N i ¹³N w badaniach gleboznawczych i chemiczno-rolniczych. WNT, Warszawa: 252 s.
- Kalembasa S., Symanowicz B. 2009. Wpływ procesu biologicznej redukcji N₂ na zmiany zawartości żelaza i manganu w biomacie rutwicy wschodniej (*Galega orientalis* Lam.) w kolejnych latach uprawy. Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol. 541: 181 — 188.
- Kalembasa S., Symanowicz B. 2009 a. The changes of molybdenum and cobalt contents in biomass of Goat's rue (*Galega orientalis* Lam.). Fresenius Environ. Bull. 18 (6): 1150 — 1153.
- Kalembasa S., Symanowicz B. 2010. Quantitative abilities of biological nitrogen reduction for *Rhizobium galegae* cultures by goat's rue. Ecol. Chem. and Engin. A. 17 (7): 757 — 764.
- Peoples M. B., Herridge D. F., Ladha J. K. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. Plant and Soil. 174: 3 — 28.
- Raig H., Nõmmsalu H., Meripõld H., Metliskaja J. 2001. Fodder Galega. Mon. ERIA Saku: 141 p.
- Reichel G. H., Barnes D. K., Vance C. P., Henjum K. J. 1984. N₂ fixation and N and dry matter partitioning during a 4-year alfalfa stand. Crop Sci. 24: 811 — 815.
- Ruszkowska M., Wojcieszka-Wyskupajtyś U. 1996. Fizjologiczne i biochemiczne funkcje miedzi i molibdenu w roślinach. Zesz. Nauk. Komitetu „Człowiek i środowisko” 14: 104 — 110.
- Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M. 1996. Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol. 434: 85 — 98.

- Symanowicz B., Appel Th., Kalembasa S. 2004. „Goat’s rue” (*Galega orientalis* Lam.) a plant with multi-directional possibilities of use for agriculture. Part III. The influence of the infection of *Galega orientalis* seeds on the content of trace elements. Polish J. Soil Sci. 37 (1): 11 — 20.
- Symanowicz B., Pala J., Kalembasa S. 2005. Wpływ procesu biologicznej redukcji N₂ na pobranie azotu przez rutwicę wschodnią (*Galega orientalis* Lam.). Acta Sci. Polon. Agricult. 4 (2): 93 — 99.
- 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. 2010 a. Zawartość Mn, B, Mo i Co w biomacie kukurydzy nawożonej odpadowymi materiałami organicznymi, popiołem i NPKMg. Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol. 547: 347 — 357.
- Szczepaniak W. 2005. Metody instrumentalne w analizie chemicznej. PWN Warszawa: 165 — 168.
- Valkonen Jari P.T. 1993. Resistance to six viruses in the legume goat’s rue (*Galega orientalis* Lam.). Ann. of Applied Biol. 123 (2): 309 — 314.
- Vanace C. P. 1998. Legume symbiotic nitrogen fixation. Agronomic aspects. In: The *Rhizobiaceae*. Ed. by H. P., Spaink, A., Kondorosi, P. J. J., Hooykaas, Kluwer Acad. Pub. Dordrecht/Boston/ London: 509 — 530.
- Virkajärvi P., Varis E. 1991. The effect of cutting times on goat’s rue (*Galega orientalis* Lam.) leys. J. Agricult. Sci. Finland 63: 391 — 402.
- Wysokiński A., Kalembasa S. 2008. Wpływ alkalizacji oraz kompostowania osadów ściekowych na zawartość boru i molibdenu w roślinach. Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol. 526: 487 — 495.
- Zawiślak K., Rychcik B. 2002. Racjonalna gospodarka polowa w krajobrazie północno-wschodniej Polski. Fragm. Agron. 2 (74): 16 — 30.