

OCENA STANU ODŻYWIENIA LUBINU WĄSKOLISTNEGO SIARKĄ W FAZIE DOJRZAŁOŚCI PEŁNEJ W WARUNKACH NAWOŻENIA TYM SKŁADNIKIEM

BOŻENA BARCZAK¹, KRYSZTIAN NOWAK, MAŁGORZATA MOSKAL

*Zakład Chemii Rolnej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,
ul. Seminaryjna 5, 85-236 Bydgoszcz*

Synopsis. Ze względu na postępujący niedobór siarki w polskich glebach oraz wzrost zainteresowania w ostatnich latach uprawą roślin strączkowych w naszym kraju, podjęto badania, których celem była ocena wpływu nawożenia tym składnikiem na wartość wskaźników stanu odżywienia siarką ($S_{og.}$, $S-SO_4^{2-}$, $S-SO_4^{2-}:S_{og.}$, i $N_{og.}:S_{og.}$) łubinu wąskolistnego odmiany Elf. Badania nad łubinem przeprowadzono w warunkach gleby płowej właściwej o odczynie kwaśnym i niskiej zasobności w siarkę. Czynniki doświadczania były: sposób stosowania (przedsiewny doglebowy i dolistny), forma siarki (elementarna i jonowa) oraz jej dawka (w $kg\ S\ ha^{-1}$: 0, 20, 40, 60). Badania wykazały, że na wartości badanych wskaźników, charakteryzujących nasiona łubinu, w większym stopniu wpływała dawka siarki niż pozostałe czynniki. Sposób jej stosowania nie różnicował istotnie żadnego z badanych wskaźników. Nawożenie siarką, zwłaszcza w formie jonowej, powodowało zwiększenie udziału siarczanów (VI) w ogólnej zawartości siarki w nasionach łubinu. Stosunek zawartości azotu do siarki (N:S) dla kolejnych badanych dawek siarki obniżał się aż do wartości uznawanych za optymalne dla plonów roślin o przeznaczeniu paszowym.

Słowa kluczowe: łubin wąskolistny, *Lupinus angustifolius* L., siarka, siarczan (VI), N:S, wskaźniki odżywienia siarką

WSTĘP

Siarka jako składnik nawozowy była przez długie lata poza zainteresowaniem nauk rolniczych, podejmowano natomiast badania nad skutkami nadmiaru jej obecności w różnych elementach agrocenozy [Kabata-Pendias 2011]. W Polsce, w latach 90. ubiegłego stulecia w wyniku transformacji ustrojowej, której następstwem była likwidacja wielu zakładów przemysłowych, emitujących ogromne ilości tlenków azotu i siarki do atmosfery, a także po wprowadzeniu restrykcyjnych norm ochrony środowiska, pojawiły się sygnały o niedoborze siarki w glebie. Do tego zjawiska przyczyniło się również obserwowane w ostatnich dekadach ograniczenie stosowania obornika oraz zmiana asortymentu nawozów mineralnych [Podleśna 2013, Przygocka-Cyna i Grzebisz 2017]. W związku z pogłębiającym się niedoborem tego składnika, w ostatnich latach podejmuje się liczne próby znalezienia indeksów diagnostycznych, których wartości określałyby warunki optymalnego odżywiania roślin siarką, bądź pozwalały na diagnozowanie ostrych lub utajonych objawów jej niedoboru [Kalembasa i Godlewska 2004, Szulca 2008]. Badania Boreczek [2001] oraz Szulca [2008] wykazały, że stosowane w tym celu testy roślinne mają więcej zalet niż glebowe, gdyż są mniej czasochłonne i bardziej wiarygodne. Są prostsze, co pozwala na dokonanie szybszej diagnozy, umożliwiając bardziej skuteczną interwencję nawozową. Do najczęściej branych pod uwagę wskaźników niedoboru siarki w roślinie

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: barczak@utp.edu.pl

nach zalicza się: zawartość formy siarczanowej (VI), jej zawartość ogólną, stosunek ilościowy tych form $S\text{-SO}_4^{2-}:S_{\text{og}}$ oraz proporcję N:S [Barczak 2010, Grzebisz i Przygocka-Cyna 2007, Szulc 2008].

Najwięcej badań na rolę nawozową siarki przeprowadzono na gatunkach z rodziny *Brassicaceae* (kapustowate), które wykazują największe ilościowe zapotrzebowanie na ten składnik. Znacznie mniej rozpoznany zagadnieniem jest oddziaływanie siarki na skład chemiczny plonów roślin rodziny *Fabaceae* (bobowate), które zalicza się do gatunków o średnim zapotrzebowaniu w stosunku do tego składnika [Zhao i in. 1999]. W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie rolników uprawą tych roślin z uwagi na uchwałę Rady Ministrów (nr 149/2011) z dnia 9 sierpnia 2011 r. [Monitor Polski 2016], która ustanowiła program na lata 2011–2015 pn. „Ulepszanie krajowych źródeł białka roślinnego, ich produkcji, systemu obrotu i wykorzystania w paszach”. Celem projektu było stworzenie warunków do zmniejszenia importu genetycznie modyfikowanej sojowej śruty poekstrakcyjnej o około 50%, w wyniku zwiększenia wartości biologicznej białka roślinnego pochodzącego z rodzimych surowców. Dodatkowym atutem zachęcającym rolników do uprawy roślin strączkowych i motylkowatych drobnosiennych są prowadzone od 2010 roku specjalne dopłaty obszarowe dla ich producentów.

Jedną z roślin strączkowych jest łubin wąskolistny (*Lupinus angustifolius* L.), charakteryzujący się dużym potencjałem genetycznym, na który wskazują osiągnięte dotychczas efekty w pracach hodowlanych nad zwiększeniem wartości odżywczej jego nasion [Prusiński 2007]. W porównaniu do innych łubinów, odmiany wąskolistne cechują się także wysokim potencjałem plonotwórczym, tolerancją na wysokie temperatury oraz krótszym okresem wegetacji [Stanek i in. 2012, Wiatr i in. 2007].

Wobec postępującego w ostatnich latach niedoboru siarki w polskich glebach [Siebielec i in. 2012, Szulc 2008] oraz wzrostu zainteresowania uprawą roślin z rodziny *Fabaceae*, podjęto badania, których celem była ocena stanu odżywienia łubinu wąskolistnego siarką w warunkach nawożenia tym pierwiastkiem.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2005–2007 w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Wierchucinku (53°26' N, 17°79' E). Realizowano je w trzech powtórzeniach metodą losowanych podbloków (split-plot) na glebie płowej właściwej o odczynie kwaśnym. Gleba kwalifikowała się do kompleksu żytniego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIb. Charakteryzowała się średnią zasobnością w dostępne formy fosforu, potasu i magnezu, a niską – w siarkę. Uprawiano łubin wąskolistny (*Lupinus angustifolius* L.) odmiany Elf. Przedplonem w każdym z lat badań był jęczmień jary. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 18 m². Fosfor i potas zastosowano przedsięwzięcie: fosfor wysiano w dawce 32 kg P·ha⁻¹ jako 40% superfosfat potrójny, a potas – w dawce 63 kg K·ha⁻¹ w formie 60% soli potasowej. Nie stosowano nawożenia azotem, nasiona przedsięwzięcie zaprawiono nitraginą. Doglebowo przedsięwzięcie zastosowano również nawozy zawierające siarkę. Czynnikiem doświadczenia (n=3) były: sposób aplikacji siarki (przedsięwzięcie doglebowy i dolistny – czynnik A), jej forma (czynnik B): elementarna jako Siarkol Extra 80 WP (80% S) i jonowa w postaci siarczanu (VI) sodu (22,5% S) oraz dawka (czynnik C – w kg S·ha⁻¹: 0, 20, 40, 60).

Dolistnie siarka była stosowana w następujących fazach: niezupełnie zwartych międzyrzędzi (BBCH 30–33), na początku kwitnienia (BBCH 50–53) oraz podczas pełni kwitnienia (BBCH 65–67). Dawkę 20 kg S·ha⁻¹ aplikowano w fazie BBCH 30–33, dawkę 40 kg S·ha⁻¹ w fazach BBCH 30–33 i 50–53, dawkę 60 kg S·ha⁻¹ – w stadium BBCH 30–33, 50–53 oraz 65–67. Oprysków dokonano roztworami o stężeniu 3,3%.

Po zbiorze w nasionach łubinu wąskolistnego z wszystkich obiektów doświadczalnych oznaczono zawartości:

- azotu ogólnego ($N_{og.}$) metodą Kjeldahla przy wykorzystaniu aparatu Kjeltec 2200 Foss,
- siarki ogólnej i siarczanowej (VI) ($S-SO_4^{2-}$) – metodą optycznej spektrometrii emisyjnej (ICP OES – *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej na aparacie firmy Thermo Elementar - IRIS Advantage w akredytowanym laboratorium, po uprzedniej mineralizacji prób w mieszaninie stężonych kwasów: azotowego (V) i chlorowego (VII) w stosunku 4:1 (siarka ogólna) oraz ekstrakcji siarczanów (VI) 2% kwasem octowym.

Dane dotyczące zawartości azotu zamieszczono w publikacji Barczak i in. (2014). Na podstawie uzyskanych wyników obliczono proporcje ilościowe: $(S-SO_4^{2-}:S_{og.}) \times 100\%$ i $N_{og.}:S_{og.}$.

Wyniki badań chemicznych poddano analizie statystycznej przy zastosowaniu programu *Statistica 8,0*. Przeprowadzono trzyczynnikową analizę wariancji w układzie losowanych podbloków w modelu mieszanym. Istotność różnic pomiędzy średnimi dla poszczególnych obiektów nawozowych oszacowano testem rozstępu Tukeya ($p < 0,05$).

WYNIKI I DYSKUSJA

Sposób aplikacji siarki (przedsiewny doglebowy i dolistny) nie różnicował istotnie w nasionach łubinu wąskolistnego ogólnej zawartości tego składnika, siarczanów (VI) oraz wyrażonej w procentach ich ilościowej proporcji (tab. 1). W przeciwieństwie do sposobu stosowania

Tabela 1. Wartości wskaźników odżywienia siarką łubinu wąskolistnego w fazie dojrzałości pełnej w zależności od sposobu aplikacji i formy siarki

Table 1. Values for indicators of the nutritional status of narrow-leaf lupin in full maturity depending on the sulphur application method and form

Lata Years	Sposób aplikacji siarki – Method of sulphur application (A)						Forma siarki Form of sulphur (B)		Średnio Mean
	doglebowe nawożenie soil fertilization			dolistne nawożenie foliar fertilization			Siarkol Extra 80WP	Na ₂ SO ₄	
	Siarkol Extra 80WP	Na ₂ SO ₄	średnio mean	Siarkol Extra 80WP	Na ₂ SO ₄	średnio mean			
S-SO₄²⁻ (g·kg⁻¹)									
2005	1,39	1,45	1,42	1,31	1,49	1,40	1,35	1,47	1,41
2006	1,67	1,69	1,68	1,82	2,03	1,93	1,75	1,86	1,81
2007	1,43	1,53	1,48	1,43	1,47	1,45	1,43	1,50	1,47
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} : A – r.n.; B – 0,06, AxB – r.n.									
S_{og.} – S_{tot.} (g·kg⁻¹)									
2005	3,09	3,30	3,19	3,04	3,28	3,16	3,07	3,29	3,18
2006	3,34	3,67	3,51	3,33	3,43	3,38	3,33	3,55	3,44
2007	2,29	2,34	2,31	2,17	2,23	2,20	2,23	2,28	2,26
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} : A – r.n.; B – 0,08; AxB – r.n.									

Tabela 1. cd.
Table 1. cont.

(S-SO ₄ ²⁻ :S _{og}) x 100%									
2005	45,0	43,9	44,5	43,5	45,4	44,3	44,0	44,7	44,3
2006	50,0	46,0	47,9	54,7	59,2	57,1	52,6	52,4	52,6
2007	62,4	65,4	64,1	65,9	65,9	65,9	64,1	65,8	65,0
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} : A – r.n.; B – r.n.; AxB – r.n.									
N:S									
2005	17,6:1	16,3:1	17,0:1	18,1:1	16,4:1	17,3:1	17,8:1	16,4:1	17,1:1
2006	14,7:1	13,5:1	14,1:1	14,9:1	14,1:1	14,5:1	14,8:1	13,8:1	14,3:1
2007	20,1:1	19,6:1	19,8:1	21,1:1	20,5:1	20,8:1	20,6:1	20,0:1	20,3:1
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} : A – 0,7; B – 1,2; AxB – r.n.									

r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

siarki, jej forma w sposób statystycznie potwierdzony kształtowała wszystkie z badanych wyróżników, oprócz udziału siarczanów (VI) w siarce ogólnej (S-SO₄/S_{og}). We wszystkich latach badań stwierdzono korzystniejsze działanie postaci jonowej nawozu (siarczan (VI) sodu) w porównaniu z pierwiastkową (Siarkol Extra 80 WP) na zawartość obydwu badanych form siarki w nasionach łubinu. Odpowiednie różnice, w zależności od formy nawozu, w kolejnych latach dla siarczanów (VI) wynosiły średnio: 8,9; 6,3 i 4,9%, a dla ogólnej zawartości siarki: 7,2; 6,6 i 2,2%. Siarka w formie pierwiastkowej jest trudno rozpuszczalna w wodzie, co ogranicza ryzyko strat składnika w wyniku wymywania do głębszych warstw profilu glebowego – ma to szczególne znaczenie na glebach lekkich. Forma ta działa wolniej od postaci jonowej ze względu na konieczność utlenienia do S-SO₄²⁻ [Grant i in. 2003, Jakubus i Toboła 2006]. Proces jej transformacji mikrobiologicznej z udziałem bakterii z rodzaju *Thiobacillus* do formy siarczanowej (VI) zależy od wielu czynników, m.in. od aktywności populacji mikroorganizmów w glebie, stopnia rozdrobnienia siarki oraz warunków pogodowych [Jamal i in. 2010]. Badania polowe, będące podstawą badań własnych, były prowadzone w warunkach na ogół niskich opadów, co może tłumaczyć niższą efektywność formy elementarnej siarki niż jej postaci jonowej. Należy nadmienić, że mimo wyraźnie wyższych zawartości siarczanów (VI) i siarki ogólnej w nasionach roślin nawożonych formą jonową niż elementarną tego składnika, ich proporcja ilościowa nie zależała istotnie od formy siarki nawozowej.

Na zawartość siarki w nasionach łubinu większy wpływ niż forma badanych nawozów, miała ich dawka (tab. 2). Zastosowanie każdej z dawek siarki powodowało istotne zwiększenie w stosunku do obiektu kontrolnego zawartości obydwu oznaczanych form (S-SO₄²⁻ i S_{og}) – odpowiednio różnice dla trzech lat badań, wynosiły średnio: dla 20 kg S·ha⁻¹ – 16,3 i 10,9%, dla 40 kg S·ha⁻¹ – 31,0 i 23,3%, a dla 60 kg S·ha⁻¹ – 35,7 i 27,5%. Uzyskane dane potwierdzają wyniki badań innych autorów, zgodnie z którymi wzrost zawartości siarki w roślinach jest następstwem dostępności tego składnika w środowisku glebowym [Jamal i in. 2010, Schnug i Haneklaus 2000]. Potarzycki [2004] podaje, że wielkość i szybkość absorpcji siarki z roztworu glebowego przez system korzeniowy wynika nie tylko z zasobności gleby w jej formy dostępne, ale zależy również od sprawności procesu pobierania i transportu siarczanów (VI) w roślinie.

Tabela 2. Wartości wskaźników odżywienia siarką łubinu wąskolistnego w fazie dojrzałości pełnej w zależności od jej dawki

Table 2. Values for indicators of the nutritional status of narrow-leaf lupin in full maturity depending on the sulphur doses

Lata Years	Dawka siarki – Dose of sulphur (kg S·ha ⁻¹)				Średnio Mean	NIR _{0,05} LSD _{0,05}
	0	20	40	60		
S-SO ₄ ²⁻ (g·kg ⁻¹)						
2005	1,16	1,33	1,56	1,60	1,41	0,16
2006	1,40	1,76	2,01	2,07	1,81	0,27
2007	1,31	1,42	1,52	1,60	1,46	0,12
S _{og} – S _{tot} (g·kg ⁻¹)						
2005	2,67	3,01	3,44	3,60	3,18	0,48
2006	2,73	3,36	3,75	3,93	3,44	0,42
2007	2,09	2,23	2,34	2,39	2,26	0,08
(S-SO ₄ ²⁻ :S _{og})x100%						
2005	43,4	44,2	45,3	44,4	44,3	r.n.
2006	51,3	52,4	53,6	52,7	52,6	r.n.
2007	62,7	63,7	65,0	66,9	64,6	3,0
N:S						
2005	19,7:1	17,9:1	15,8:1	15,0:1	17,1:1	2,8
2006	17,3:1	14,6:1	12,9:1	12,6:1	14,3:1	2,2
2007	21,7:1	20,5:1	19,7:1	19,4:1	20,3:1	r.n.

r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

Zatem podstawowym problemem jest nie tylko dostępność siarki, ale także efektywna gospodarka tym składnikiem w powiązaniu z azotem, na metabolizm którego siarka ma duży wpływ.

W wyniku zmian zawartości siarki siarczanowej (VI) i ogólnej w nasionach łubinu pod wpływem nawożenia tym składnikiem nastąpiły zmiany wyrażonego w % ich ilościowego stosunku S-SO₄²⁻:S_{og} (tab. 2). Średnia jego wartość wynosiła 54,0%. Proporcja ta, zdaniem Scotta i in. [1984], może być przydatna w diagnostyce potrzeb pokarmowych roślin względem tego składnika. Według autorów jego wartość w plonach niższa niż 10%, wskazuje na niedostatek w glebie siarki przyswajalnej. Zdaniem Brodowskiej i Kaczora [2003], przy dobrym zaopatrzeniu roślin w siarkę, udział siarczanów (VI) w całkowitej zawartości pierwiastka może stanowić nawet 50–90%, natomiast przy niedoborze tego składnika w glebie, nieorganiczna forma siarki występuje w roślinie w bardzo niewielkich ilościach. Im lepsze zaopatrzenie roślin w siarkę, tym większy udział siarczanów (VI), które nie zostały wykorzystane do syntezy związków organicznych. We wszystkich latach badań stosowane dawki siarki znacząco podwyższyły wartość omawianej proporcji w porównaniu z kontrolą, ale różnice na ogół nie były jednak istotne.

Wiele badań [Barczak i in. 2016, Podleśna i Kocoń 2009, Schnug i Haneklaus 2000] wskazuje na silną interakcję siarki i azotu jako składników nawozowych niezbędnych do syntezy aminokwasów wchodzących w skład białek. Miarą wzajemnego oddziaływania tych składników jest ich ilościowy stosunek N:S (zawartość całkowitą siarki przyjmuje się za 1). W nasionach łubinu wynosił on średnio 16,4:1 (tab. 1 i 2) i był znacznie wyższy niż w nasionach rzepaku jarego [9,3:1 – Šiaudinis 2010], bulwach ziemniaka [12,0:1 – Klikocka 2004a] oraz w biomasie użytków zielonych [9,2–12,6:1 – Grygierzec i in. 2015]. Również ziarno zbóż na ogół cechuje węższy stosunek N:S niż nasiona łubinu [Jamal i in. 2010, Klikocka 2004b]. Wysoka wartość omawianej proporcji w nasionach łubinu wynika z wysokiej w nich zawartości azotu, co jest konsekwencją znacznie większego pobierania tego składnika przez rośliny z rodziny bobowatych w porównaniu z potrzebami roślin oleistych, ziemniaka, traw i zbóż.

Wykazano stosunkowo duże zróżnicowanie wartości N:S w nasionach łubinu z poszczególnych lat badań – średnio od 14,3:1 w roku 2006, do 20,3:1 – w 2007 (tab. 2). Sposób aplikacji i forma siarki istotnie wpływały na omawianą proporcję: nieco wyższą jej wartość uzyskano po dolistnym zastosowaniu siarki niż po jej doglebowej aplikacji. Nawożenie formą elementarną siarki bardziej sprzyjało rozszerzeniu omawianego stosunku niż postacią jonową, gdyż w wyniku jej aplikacji zawartość siarki ogólnej była niższa niż po zastosowaniu drugiej badanej formy.

Pośród badanych czynników, dawka siarki w największym stopniu determinowała wartość N:S (tab. 2). Zwiększająca się podaż tego składnika sprawiała, że ogólna zawartość siarki w nasionach łubinu wzrastała, co skutkowało stopniowym zawężaniem proporcji ilościowej azotu do siarki (N:S) dla kolejnych badanych dawek, średnio dla trzech lat badań: od 19,0:1 dla 0 kg S·ha⁻¹ do 14,9:1 dla 60 kg S·ha⁻¹. Dawki 40 i 60 kg S·ha⁻¹ pozwoliły osiągnąć w nasionach łubinu wartości omawianego wskaźnika mieszczące się według Krzywego i in. [2002] oraz Filipek-Mazur i Tabak [2016] w optymalnym przedziale ilościowym N:S – (15–16):1 dla plonów roślin o przeznaczeniu paszowym. Ma to znaczenie dla oceny wartości nasion łubinu, które mogą być skarmiane jako składniki mieszanki pełnoporcjowej lub paszy treściwej uzupełniającej [Rutkowski 2015], a jego białko jest bardzo dobrym uzupełnieniem białka zbóż w mieszankach paszowych.

WNIOSKI

1. O ogólnej zawartości siarki; i jej formy siarczanowej (VI) w nasionach łubinu wąskolistnego, a także o wartości stosunków S-SO₄²⁻:S_{og} i N:S, w większym stopniu decydowała dawka siarki niż sposób i forma jej aplikacji. Sposób stosowania tego składnika nie różnicował istotnie żadnego z badanych wskaźników.
2. Nawożenie łubinu siarką, zwłaszcza w formie jonowej, powodowało na ogół istotny wzrost zawartości w nasionach jej formy ogólnej i siarczanowej (VI), a także zwiększanie udziału siarczanów (VI) w ogólnej zawartości siarki w porównaniu do obiektu kontrolnego.
3. Stosunek zawartości azotu do siarki (N:S) dla kolejnych badanych dawek ulegał zawężeniu, osiągając wartości przyjęte za optymalne dla plonów o przeznaczeniu paszowym.
4. Zastosowanie siarki jako sposobu suplementacji nawożenia łubinu wąskolistnego powodowało poprawę stanu odżywienia roślin tym składnikiem, a także korzystnie wpływało na wartość paszową jego nasion.

PIŚMIENNICTWO

- Barczak B. 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. Rozpr. Nauk., UTP Bydgoszcz 144, ss. 131.
- Barczak B., Knapowski T., Kozera W., Ralcewicz M. 2014. Effect of sulphur fertilization on the content and uptake of macroelements in narrow-leaf lupin. Rom. Agric. Res. 31: 1–7.
- Barczak B., Skinder Z., Piotrowski R. 2016. Sulphur as a factor that affects nitrogen effectiveness in spring rapeseed agrotechnics. Part II. Yield of seeds and protein. Acta Sci. Pol., Agricultura 15(4): 3–14.
- Boreczek B. 2001. Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. Fragm. Agron. 18(4): 118–133.
- Brodowska M., Kaczor A. 2003. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na skład anionowy pszenicy i rzepaku. Nawozy Nawoż./Fert. Fertiliz. 4: 92–103.
- Filipek-Mazur B., Tabak M. 2016. Content of macroelements in meadow sward along road no. 957. Fragm. Agron. 33(3): 27–37.
- Grant C.A., Johnston A.M., Clayton G.W. 2003. Sulphur fertilizer and tillage effects on early season sulphur availability and N:S ratio in canola in western Canada. Can. J. Soil Sci. 83: 451–462.
- Grygierzec B., Luty L., Musiał K. 2015. The efficiency of nitrogen and sulphur fertilization on yields and value of N:S ratio for *Lolium×bouchanum*. Plant Soil Environ. 61(3): 137–143.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K. 2007. Spring malt barley response to elemental sulphur – the prognostic value of N and S concentrations in malt barley leaves. Plant Soil Environ. 53(9): 388–394.
- Jakubus M., Toboła P. 2006. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w rzepaku ozimym w zależności od nawożenia. Rośl. Oleiste/Oilseed Crops 26: 149–161.
- Jamal A., Moon Y., Abdin M. Z. 2010. Sulphur – a general overview and interaction with nitrogen Austr. J. Crop Sci. 4: 523–529.
- Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4th ed., CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, pp. 505.
- Kalembasa S., Godlewska A. 2004. Metody diagnozowania potrzeb nawożenia siarką w zrównoważonym systemie nawożenia. Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym. Monogr., Wyd. AP Siedlce 54: 59–81.
- Klikocka H. 2004a. Wpływ nawożenia siarką na plon i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego oraz właściwości gleby. Fragm. Agron. 21(3): 70–79.
- Klikocka H. 2004b. Nawożenie ziemniaka siarką. Fragm. Agron. 21(3): 80–94.
- Krzywy J., Baran S., Krzywy E. 2002. Wpływ nawozów jednoskładnikowych i wieloskładnikowych na kształtowanie stosunków jonowych K:Mg, K:(Ca+Mg), Ca:P oraz N:S w roślinach uprawnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 483: 317–323.
- Monitor Polski 2016 (www.monitorpolski.gov.pl)
- Podleśna A. 2013. Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych. Monogr. Rozpr. Nauk., IUNG- BIP Puławy 37, ss. 141.
- Podleśna A., Kocoń A. 2009. The effects of sulfur and nitrogen on yield and quality of winter oilseed rape. In: Sulfur metabolism in higher plants. Margraf Publishers, Germany, pp.123–127.
- Potarzycki J. 2004. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. Cz. II. Wykorzystanie azotu i siarki z nawozów. Nawozy Nawoż./Fert. Fertiliz. 4(17): 193–205.
- Prusiński J. 2007. Postęp biologiczny w łubinie (*Lupinus* sp.) – Rys historyczny i stan aktualny. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 522: 23–37.
- Przygocka-Cyna K., Grzebisz W. 2017. Sulphur balance in Poland – regional analysis. Fragm. Agron. 34(1): 60–75.
- Rutkowski A. (red.) 2015. Możliwości wykorzystania roślin strączkowych w żywieniu zwierząt monogastrycznych. Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA, Szczecin, ss. 84.
- Schnug E., Haneklaus S. 2000. Significance of interactions between sulphur nitrogen supply for growth and quality of crop plants. In: Sulphur nutrition and sulphur assimilation in higher plants. Brunold C., Rennenberg H., De Kok L., Stulen I., Davidian J.C. (eds.). Paul Haupt Publisher, Bern, Switzerland, 345–347.
- Scott N.M., Dyson P.W., Ross J., Sharp S. 1984. The effect of sulphur on the yield and chemical composition of winter barley. J. Agric. Sci. 103: 699–702.

- Šiaudinis G. 2010. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation on the elemental composition and seed quality of spring oilseed rape. *Zemdirbyste-Agriculture* 97(4): 47–56.
- Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B. 2012. Monitoring chemizmu gleb Polski w latach 2010–2012. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, ss. 196.
- Stanek M., Bogusz J., Sobotka W., Bieniaszewski T. 2012. Wartość odżywcza nasion łubinu wąskolistnego. *Fragm. Agron.* 29(4): 160–166.
- Szulc W. 2008. Potrzeby nawożenia roślin siarką oraz metody ich wyznaczania. *Rozpr. Nauk., SGGW Warszawa* 332, ss. 97.
- Wiatr K., Dolata A., Mańczak T. 2007. Koncentracja i zmienność podstawowych cech jakościowych nasion odmian łubinów zarejestrowanych w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 522: 75–85.
- Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P. 1999. Sulphur nutrition of spring peas. *Asp. Appl. Biol.* 56: 189–194.

B. BARCZAK, K. NOWAK, M. MOSKAL

ASSESSMENT OF THE NUTRITIONAL STATUS OF NARROW-LEAF LUPIN OF SULPHUR IN FULL MATURITY UNDER CONDITIONS OF FERTILIZATION WITH THIS NUTRIENT

Summary

Due to the progressive sulphur deficiency in Polish soils and the growing interest in cultivation of pulse plants in the country, a study was conducted on the Elf cultivar of narrow-leaf lupin. The objective of the study was to determine the effect of fertilization with this nutrient on indicators of the nutritional status (S_{tot} , $S-SO_4^{2-}$, $S-SO_4^{2-}:S_{tot}$ and $N_{tot}:S_{tot}$) of the lupin. The study was carried out on lessive soil with acidic pH and low sulphur content. The experimental factors were the means of sulphur application (soil application prior to sowing and foliar application), its form (elemental and ionic) and the application rate (in $kg S \cdot ha^{-1}$: 0, 20, 40 and 60). The values of the indicators tested, characterizing the lupin seeds, were found to be influenced to a greater extent by the sulphur application rate than by the other factors. The means of application did not significantly differentiate any of the tested indicators. Application of sulphur, particularly in ionic form, caused an increase of the sulphates (VI) proportion in the total sulphur content ($S-SO_4^{2-}:S_{tot}$) in the lupin seeds. The nitrogen to sulphur ratio (N:S) decreased with each successive application rate until the values considered as optimal for fodder were reached. Inclusion of sulphur in mineral fertilization of narrow-leaf lupin not only improved the nutritional status of the plants in terms of this nutrient, but also had a beneficial effect on the fodder value of seeds lupin.

Key words: narrow-leaf lupin, *Lupinus angustifolius* L., sulphur fertilisation, nitrogen, sulphate (VI), N:S

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 9.06.2017

Do cytowania – *For citation*

Barczak B., Nowak K., Moskal M. 2017. Ocena stanu odżywienia łubinu wąskolistnego siarką w fazie dojrzałości pełnej w warunkach nawożenia tym składnikiem. *Fragm. Agron.* 34(3): 25–32.