

WSKAŹNIKI STANU ODŻYWIENIA ŁUBINU WĄSKOLISTNEGO (*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS* L.) SIARKĄ W ZALEŻNOŚCI OD FORMY I DAWKI TEGO PIERWIASTKA

Bożena Barczak¹, Hanna Klikocka², Wojciech Kozera¹,
Krzysztof Gęsiński¹

¹ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Z uwagi na postępujący niedobór siarki w polskich glebach, podjęto badania, których celem była ocena wpływu nawożenia tym pierwiastkiem na wartość wskaźników stanu odżywienia ($S-SO_4^{2-}$, S_{og} , $S-SO_4^{2-}:S_{og}$ i $N_{og}:S_{og}$) łubinu wąskolistnego odmiany Elf, oznaczonych w liściach na początku kwitnienia roślin. Badania nad łubinem przeprowadzono w warunkach gleby płowej właściwej o niskiej zasobności w siarkę. Czynnikiem doświadczenia były: forma siarki (pierwiastkowa i jonowa) oraz jej dawka (0, 20, 40, 60 kg S·ha⁻¹). Badania wykazały, że na zawartość azotu w liściach łubinu oraz na wartości badanych wskaźników bardziej wpływała dawka siarki niż jej forma. Nawożenie siarką, bez względu na formę, powodowało rozszerzenie w porównaniu z obiektem kontrolnym ilościowej proporcji siarki siarczanowej (VI) do całkowitej w liściach łubinu, natomiast stosunek ogólnych zawartości azotu i siarki (N:S) dla kolejnych badanych dawek ulegał zawężeniu. Wartości N:S w warunkach nawożenia siarką były bardziej stabilne niż wartości pozostałych badanych wskaźników zaopatrzenia roślin w ten pierwiastek.

Słowa kluczowe: łubin wąskolistny, nawożenie siarką, azot, siarczany (VI)

WSTĘP

W ostatnim 20-leciu w glebach wielu krajów świata [McGrath i in. 2003, Girma i in. 2005], w tym w Polsce [Szulc 2008, Filipek-Mazur i Tabak 2011, Klikocka 2011], obserwuje się niedobór siarki, której obecność jest niezbędna do realizacji pełnego cyklu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Bożena Barczak, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Zakład Chemii Rolnej, ul. Seminaryjna 5, 85-326 Bydgoszcz, e-mail: barczak@utp.edu.pl

życiowego roślin. W związku z pogłębiającym się deficytem tego składnika, podejmowanych jest wiele prób wyznaczenia indeksów diagnostycznych, których wartości określałyby warunki optymalnego odżywiania roślin siarką, bądź pozwalały na diagnozowanie objawów jej niedoboru – utajonych lub ostrych [McGrath i Zhao 1996, Kalembasa i Godlewska 2004, Potarzycki i Grzebisz 2007, Szulc 2008]. Zdaniem Withersa i innych [1995] oraz Zukałowej i innych [2001], w celu wiarygodnego prognozowania dostępności siarki dla roślin, obok wykonania analizy glebowej, niezbędne jest oznaczenie zawartości tego składnika w liściach w fazie kwitnienia. Boreczek [2001], a także Szulc [2008], uważają, że stosowane w tym celu testy roślinne mają więcej zalet niż testy glebowe, gdyż są prostsze i bardziej wiarygodne. Pozwalają też na dokonanie szybszej diagnozy, umożliwiając bardziej skuteczną interwencję nawozową. Testy glebowe są mniej precyzyjnym narzędziem do oznaczania potrzeb nawozowych roślin względem siarki, z uwagi na dużą dynamikę tego składnika w glebie, wynikającą również z możliwości deponowania pierwiastka w danym ekosystemie ze źródeł zewnętrznych [Kalembasa i Godlewska 2004, Szulc 2008]. Do najczęściej branych pod uwagę wskaźników niedoboru siarki w roślinach zalicza się: jej zawartość ogólną, zawartość formy siarczanowej (VI), stosunek ilościowy tych form ($S-SO_4^{2-}:S_{og}$) oraz proporcji azotu do siarki (N:S) [Grzebisz i Przygocka-Cyna 2007, Potarzycki i Grzebisz 2007, Szulc 2008, Barczak 2010].

Mając na uwadze ważną rolę siarki w metabolizmie również roślin bobowatych (*Fabaceae*) [Zhao i in. 1999a, Zhao i in. 1999b] oraz obserwowane w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie tym pierwiastkiem jako składnikiem nawozowym, podjęto badania, których celem była ocena wpływu nawożenia siarką na wartości wskaźników stanu odżywienia tym pierwiastkiem łubinu wąskolistnego, oznaczonych w jego liściach na początku fazy kwitnienia.

MATERIAŁ I METODY

Badania nad łubinem wąskolistnym (*Lupinus angustifolius* L.) odmiany Elf przeprowadzono w latach 2005–2007 w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, położonej w Wierzchucinku (53°26'N, 17°79'E). Ścisłe doświadczenie polowe realizowano na glebie według klasyfikacji WRB – płowej właściwej, kompleksu żytznego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIb, o odczynie kwaśnym oraz o średniej zasobności w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu, a niskiej – w siarkę. Obiekty doświadczenia rozmieszczono metodą losowanych podbloków (split-plot) w trzech powtórzeniach. W każdym z lat badań łubin uprawiano po jęczmieniu jarym. Powierzchnia poletka wynosiła 18 m². Przedsięwzięcie zastosowano jednolite nawożenie fosforem i potasem: fosfor wysiano w dawce 32 kg P·ha⁻¹ w formie 40% superfosfatu potrójnego, a potas – w dawce 63 kg K·ha⁻¹ jako 60-procentową sól potasową. Doglebowo przedsięwzięcie zastosowano również nawozy siarkowe: Siarkol Extra 80 (zawartość siarki – 80%) oraz siarczan (VI) sodu (22,5% S).

Badanymi czynnikami doświadczenia polowego były:

- czynnik I rzędu – forma siarki: elementarna w postaci Siarkolu Extra 80 lub jonowa w postaci siarczanu (VI) sodu,
- czynnik II rzędu – dawka siarki: 0, 20, 40, 60 kg·ha⁻¹.

W liściach łubinu wąskolistnego pobranych na początku kwitnienia w fazie BBCH 50-53 [Adamczewski i Matysiak 2002] z wszystkich obiektów doświadczalnych oznaczono zawartości:

- azotu ogólnego (N_{og}) metodą Kjeldahla (aparatury Kjeltec 2200 Foss),
- siarki ogólnej (S_{og}) 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 laboratorium akredytowanym, po uprzedniej mineralizacji prób w mieszaninie stężonych kwasów: azotowego (V) i chlorowego (VII) w stosunku objętościowym 4:1 (siarka ogólna) oraz po ekstrakcji siarczanów (VI) 2-procentowym kwasem octowym.

Wyniki badań chemicznych opracowano statystycznie przy użyciu programu Statistica 8,0. Przeprowadzono trzyczynnikową analizę wariancji w układzie losowanych podbloków w modelu mieszanym. Istotność różnic między średnimi dla poszczególnych obiektów nawozowych oszacowano testem rozstępu Tukeya ($p < 0,05$).

WYNIKI I Dyskusja

Wykazano, że nawożenie siarką – niezależnie od jej formy – poprawiało zaopatrzenie roślin w ten składnik oraz istotnie zwiększało jej ogólną zawartość (S_{og}) w liściach łubinu wąskolistnego pobieranych do analiz na początku kwitnienia (tab. 1). W dwóch z trzech lat badań stwierdzono istotnie korzystniejsze działanie formy jonowej w porównaniu z pierwiastkową [odpowiednie różnice w 2006 roku wynosiły średnio $0,44 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (19,3%), a w 2007 – $0,24 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (9,4%)]. Wydaje się, że lepsze efekty stosowania formy siarczanowej (VI) niż pierwiastkowej wynikają z faktu, że siarka elementarna działa wolniej ze względu na konieczność utlenienia do $S-SO_4^{2-}$ [Grant i in. 2003, Jakubus i Toboła 2005]. Należy nadmienić, że liście w fazie kwitnienia roślin znacznie silniej reagują zmianą zawartości siarki na zwiększoną jej podaż w glebie niż inne organy, np. łodygi czy korzenie [Eriksen i in. 2001].

Na zawartość siarki całkowitej i siarczanowej (VI) w liściach łubinu większy wpływ niż forma nawozów miała ich dawka. Zastosowanie każdej z badanych dawek siarki powodowało istotne zwiększenie w stosunku do obiektu kontrolnego zawartości obydwu oznaczanych w liściach form (S_{og} i $S-SO_4^{2-}$) – odpowiednie różnice średnio dla trzech lat badań, bez względu na postać zastosowanego nawozu, wynosiły: dla $20 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ – 18,8 i 45,8%, dla $40 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ – 32,4 i 95,8%, dla $60 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ – 43,5 i 137,5%. Uzyskane dane potwierdzają wyniki badań innych autorów, zgodnie z którymi wzrost zawartości siarki w roślinach jest konsekwencją dostępności tego składnika w środowisku glebowym [Riley i in. 2000, Wieser i in. 2004]. Potarzycki [2004] zwraca uwagę, że wielkość i szybkość absorpcji siarki z roztworu glebowego przez system korzeniowy wynika nie tylko z zasobności gleby w jej formy przyswajalne, ale zależy również od sprawności procesu pobierania i transportu siarczanów (VI) w roślinie. Podstawowym problemem zatem jest nie tylko dostępność siarki, ale także efektywność gospodarki tym składnikiem oraz azotem, na metabolizm którego siarka ma duży wpływ.

Tabela 1. Zawartości siarki ogólnej (S_{og}) i siarczanowej (VI) ($S-SO_4^{2-}$) oraz ich stosunku ilościowego w liściach łubinu wąskolistnegoTable 1. Contents of total sulphur (S_{tot}), sulphate (VI) ($S-SO_4^{2-}$) and their proportion in the narrow-leafed lupin leaves

Dawka Dose [kg·ha ⁻¹]	Lata badań/Years of study									Średnio Mean
	2005			2006			2007			
	Siarkol Extra 80	Na ₂ SO ₄	średnio mean	Siarkol Extra 80	Na ₂ SO ₄	średnio mean	Siarkol Extra 80	Na ₂ SO ₄	średnio mean	
S_{og}/S_{tot} [g·kg ⁻¹]										
0	2,08	2,17	2,13	1,92	2,08	2,00	1,98	2,20	2,09	2,07
20	2,56	2,28	2,42	2,45	2,74	2,60	2,04	2,68	2,36	2,46
40	2,75	2,72	2,74	2,15	2,77	2,46	2,89	3,12	3,01	2,74
60	2,71	2,82	2,77	2,60	3,28	2,94	3,27	3,14	3,21	2,97
Średnio Mean	2,53	2,50	2,52	2,28	2,72	2,50	2,55	2,79	2,67	2,56
NIR LSD	I cz./I fac. – 0,19 II cz./II fac. – 0,21 I × II – n.i./n.s.									
$S-SO_4^{2-}$ [g·kg ⁻¹]										
0	0,20	0,20	0,20	0,25	0,20	0,23	0,25	0,33	0,29	0,24
20	0,37	0,29	0,33	0,37	0,38	0,38	0,24	0,41	0,33	0,35
40	0,41	0,58	0,50	0,41	0,40	0,41	0,51	0,49	0,50	0,47
60	0,57	0,54	0,56	0,57	0,56	0,57	0,61	0,54	0,58	0,57
Średnio Mean	0,39	0,41	0,40	0,40	0,37	0,39	0,40	0,52	0,42	0,40
NIR LSD	I cz./I fac. – n.i./n.s. II cz./II fac. – 0,09 I × II – n.i./n.s.									
$S-SO_4^{2-}:S_{og}/S-SO_4^{2-}:S_{tot}$ [%]										
0	9,6	9,2	9,4	13,0	9,6	11,3	12,6	15,0	13,8	11,5
20	14,5	12,7	13,6	15,1	13,9	14,5	11,8	15,3	13,6	13,9
40	14,9	15,6	15,4	19,1	14,4	16,8	17,6	15,7	16,7	16,3
60	21,0	19,1	20,1	21,9	17,1	19,5	17,2	14,0	15,6	18,4
Średnio Mean	15,0	14,2	14,6	17,3	13,8	15,5	14,8	15,1	15,0	15,1
NIR LSD	I cz./I fac. – 1,2 II cz./II fac. – 1,8 I × II – n.i./n.s.									

Konsekwencją przedstawionych zmian zawartości siarki ogólnej i siarczanowej (VI) w liściach łubinu pod wpływem nawożenia siarką były zmiany wyrażonego w procentach stosunku ilości formy $S-SO_4^{2-}$ do jej ogólnej zawartości (tab. 1), który zdaniem Scotta i innych [1984] może być przydatny w diagnostyce potrzeb pokarmowych roślin względem tego składnika. Jego wartość w plonach mniejsza niż 10%, według autorów, wskazuje na niedostatek w glebie siarki przyswajalnej. Według 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 nieorganiczne formy siarki występują w roślinach w bardzo niewielkich ilościach. Zastosowane w omawianych badaniach dawki siarki, zwłaszcza w for-

mie elementarnej, w porównaniu z kontrolą we wszystkich latach istotnie podwyższały wartość omawianej porcji.

Czynnikiem, który istotnie determinował zawartość azotu ogólnego w liściach łubinu, była tylko dawka siarki (tab. 2). Największe przyrosty w stosunku do obiektu kontrolnego odnotowano pod wpływem dawki 40 kg S·ha⁻¹ (średnio o 10,1%). Zależność między dobrym zaopatrzeniem roślin strączkowych (bobu, peluszki) w siarkę a zwiększeniem zawartości białka, zarówno w ich częściach wegetatywnych, jak i w nasionach, znalazła potwierdzenie m.in. w badaniach Goźlińskiego [1970].

Tabela 2. Zawartość azotu ogólnego (N_{og}) oraz stosunek N do S w liściach łubinu wąskolistnego
Table 2. Content of nitrogen total (N_{tot}) and proportion N to S in the narrow-leaved lupin leaves

Dawka Dose [kg·ha ⁻¹]	Lata badań/Years of study									Średnio Mean
	2005			2006			2007			
	Siarkol Extra 80	Na ₂ SO ₄	średnio mean	Siarkol Extra 80	Na ₂ SO ₄	średnio mean	Siarkol Extra 80	Na ₂ SO ₄	średnio mean	
N _{og} /N _{tot} [g·kg ⁻¹]										
0	28,0	29,5	28,8	25,2	26,0	25,6	25,0	27,2	26,1	26,8
20	29,1	31,6	30,4	28,3	29,7	29,0	26,1	23,2	24,7	28,0
40	30,5	31,9	31,2	24,5	30,8	27,7	30,0	29,1	29,6	29,5
60	28,6	27,4	28,0	30,0	26,3	28,2	25,5	31,6	28,6	28,3
Średnio Mean	29,1	30,1	29,6	27,0	28,2	27,6	26,7	27,8	27,3	28,2
NIR LSD	I cz./I fac. – n.i./n.s. II cz./II fac. – n.i./n.s. I × II – n.i./n.s.									
N _{og} :S _{og} /N _{tot} :S _{tot}										
0	13,5	13,6	13,6	13,1	12,5	12,8	13,6	12,4	13,0	13,1
20	11,4	13,9	12,7	9,9	10,8	10,4	12,8	8,7	10,8	11,2
40	11,1	11,7	11,4	11,4	11,1	11,3	10,4	9,3	9,9	10,9
60	10,6	9,7	10,2	11,5	8,0	9,8	7,8	10,1	9,0	9,6
Średnio Mean	11,7	12,2	12,0	11,5	10,6	11,1	11,2	10,1	10,7	11,2
NIR LSD	I cz./I fac. – 0,8 II cz./II fac. – 1,2 I × II – 0,7									

Ganeshamurthy i Reddy [2000] wykazali, że zastosowanie siarki w agrotechnice soi oraz grochu siewnego skutkowało zwiększeniem liczby i masy brodawek na korzeniach roślin, intensyfikując proces biologicznej redukcji azotu cząsteczkowego, a tym samym – syntezę białka. Zależność tę tłumaczy obecność siarki w nitrogenazie i ferrodoksynie, enzymach odgrywających kluczową rolę w tym procesie. Ich aktywność jest warunkowana odpowiednim układem przestrzennym, utrzymywanym przez te enzymy dzięki mostkom siarczkowym tworzonym przez grupy disulfidowe aminokwasów siarkowych.

Wiele badań [Janzen i Bettany 1984, Schnug i Haneklaus 2000] wskazuje na silną interakcję między poziomem azotu i siarki jako pierwiastków niezbędnych do syntezy

aminokwasów wchodzących w skład białek. Miarą wzajemnego oddziaływania tych składników jest ich ilościowy stosunek. W liściach łubinu wynosił on średnio 11,2:1 (tab. 2) i był znacznie mniejszy niż w liściach pszenicy ozimej [15,0:1 – Blake-Kalff i in. 2003] oraz w biomasie użytków zielonych [18,4:1 – Brown i in. 2000]. Mniejsza wartość omawianej proporcji w liściach łubinu wynika z dużej w nich zawartości siarki, co jest konsekwencją znacznie większego zapotrzebowania na ten składnik u roślin z rodziny bobowatych w porównaniu z potrzebami zbóż i traw.

W dwóch z trzech lat badań zastosowanie formy jonowej siarki powodowało w porównaniu z formą pierwiastkową zawężenie wartości omawianego stosunku w liściach łubinu (tab. 2). Wzrostowi dawek siarki towarzyszyło na ogół obniżanie wartości N:S z uwagi na większe przyrosty zawartości siarki niż azotu w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w siarkę. Taki kierunek zmian N:S pod wpływem wzrastających dawek siarki jest zgodny z badaniami dotyczącymi m.in. nasion soi [Gaines i Phatak 1982]. W badaniach Aulakha i Deva [1978] nad lucerną zastosowanie tego składnika obniżyło wartość N:S, rozszerzając jednocześnie proporcję między białkowymi formami azotu i siarki.

Wartość diagnostyczną N:S ogranicza fakt, że obrazuje on jedynie proporcje ilościowe tych pierwiastków, a nie ich aktualną bezwzględną zawartość. Jednak Kalembasa i Godlewska [2004] zwracają uwagę na stabilność N:S w biomasie roślin i uważają, że wskaźnik ten podczas rozwoju rośliny jest bardziej stabilny niż inne analizowane parametry i dlatego może być przyjęty za miernik zaopatrzenia roślin w siarkę. W przeprowadzonych badaniach N:S, oznaczany w liściach łubinu pobranych w fazie kwitnienia, zmieniał się w mniejszym stopniu pod wpływem nawożenia siarką niż zawartości jej formy siarczanowej (VI) i ogólnej, a także ich ilościowy stosunek $S\text{-SO}_4^{2-}:S_{\text{og}}$. Można sądzić, że wynikało to z faktu ścisłego powiązania metabolizmu obydwu pierwiastków.

WNIOSKI

1. W pobieranych na początku fazy kwitnienia (BBCH 50-53) liściach łubinu wąskolistnego o ogólnej zawartości siarki oraz formy siarczanowej (VI), a także o wartości stosunków $S\text{-SO}_4^{2-}:S_{\text{og}}$ i N:S, w znacznie większym stopniu decydowała dawka siarki niż jej forma. W porównaniu do obiektu kontrolnego zastosowanie każdej z badanych dawek tego składnika (20, 40 i 60 kg $S\cdot\text{ha}^{-1}$) powodowało w liściach istotny wzrost zawartości siarki ogólnej i siarczanowej (VI).

2. Postać jonowa siarki wpływała na ogół istotnie korzystniej na zawartość siarki ogólnej i siarczanowej (VI) w porównaniu z formą elementarną.

3. Zastosowanie siarki powodowało rozszerzenie w porównaniu z obiektem nienawożonym ilościowej proporcji siarki siarczanowej (VI) do jej formy ogólnej w liściach łubinu, zaś stosunek zawartości azotu do siarki (N:S) dla kolejnych badanych dawek ulegał zawężeniu.

4. Wartości N:S w warunkach zróżnicowanego nawożenia siarką były bardziej stabilne niż wartości pozostałych oznaczanych wskaźników (S_{og} , $S\text{-SO}_4^{2-}$, $S\text{-SO}_4^{2-}:S_{\text{og}}$).

LITERATURA

- Adamczewski K., Matysiak K., 2002. Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH. IOR, Główny Inspektor Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Warszawa.
- Aulakh M.S., Dev G., 1978. Interaction effect of calcium and sulphur on growth and nutrient composition of alfalfa (*Medicago sativa* L.) using 35 S. *Plant Soil* 50, 125–134.
- Barczak B., 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. *Rozpr. Nauk.* 144, UTP, Bydgoszcz.
- Blake-Kalff M., Zhao F.J., McGrath S.P., 2003. Sulphur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. *Fert. Fertiliz.* 3, 5–25.
- Boreczek B., 2001. Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. *Fragm. Agron.* 4, 118–133.
- Brodowska M., Kaczor A., 2003. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na skład anionowy pszenicy i rzepaku. *Fert. Fertiliz.* 4, 92–103.
- Brown L., Scholefield D., Jewkes E.C., Preedy N., Wadge K., Butler M., 2000. The effect of sulphur application on the efficiency of nitrogen use in two contrasting grassland soils. *J. Agricult. Sci. (Cambridge)* 135, 131–138.
- Eriksen J., Nielsen M., Mortensen J., Schjorring J., 2001. Redistribution of sulphur during generative growth of barley plants with different sulphur and nitrogen status. *Plant Soil* 230, 239–246.
- Filipek-Mazur B., Tabak M., 2011. Zawartość siarki w kukurydzy i w glebie nawożonej materiałami organicznymi. *ZPPNR* 565, 55–61.
- Gaines T.P., Phatak S.C., 1982. Sulphur fertilization effects on the constancy of the protein N:S ratio in low and high sulphur accumulating crops. *Agron. J.* 74, 415–418.
- Ganeshamurthy A.N., Reddy K.S., 2000. Effect of integrated use farmyard manure and sulphur in a soybean and wheat cropping system on nodulation, dry matter production and chlorophyll content of soybean on swell-shrink soils in central India. *J. Agron. Crop Sci.* 185, 91–97.
- Girma K., Mosali J., Freeman K.W., Raun W.R., Martin K.L., Thomason W.E., 2005. Forage and grain yield response to applied sulphur in winter wheat as influenced by source and rate. *J. Plant Nutrit.* 28, 1541–1553.
- Goźliński H., 1970. Działanie nawozowe siarki przy różnych poziomach nawożenia azotem. Cz. II. Badania nad peluszką, bobem, koniczyną, gorczycą i ziemniakami. *Rocz. Nauk Rol. A*, 97(1), 95–112.
- 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(4), 451–462.
- 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., 2005. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w rzepaku ozimym w zależności od nawożenia. *Rośl. Oleiste* 26, 149–161.
- Janzen H.H., Bettany J.R., 1984. Sulphur nutrition of rapeseed. I. Influence of fertilizer nitrogen and sulphur rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 100–106.
- Kalembasa S., Godlewska A., 2004. Metody diagnozowania potrzeb nawożenia siarką w zrównoważonym systemie nawożenia. *Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym. Monografie* 54, AP, Siedlce, 59–81.

- Klikocka H. 2011. Zasoby siarki w Polsce oraz jej znaczenie w przemyśle i rolnictwie. *Przem. Chem.* 90(9), 1728–1737.
- McGrath S.P., Zhao F.J., 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 126, 53–62.
- McGrath S.P., Zhao F.J., Blake-Kalff M.M., 2003. History and outlook for sulphur fertilizers in Europe. *Fert. Fertiliz.* 2(15), 5–27.
- Potarzycki J., 2004. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. Cz. II. Wykorzystanie azotu i siarki z nawozów. *Fert. Fertiliz.* 4(17), 193–205.
- Potarzycki J., Grzebisz W., 2007. Effect of phosphoric fertilizers as a source of sulphur on malt barley total and technological grain yields. *Plant Soil Environ.* 53, 395–402.
- Riley N.G., Zhao F.J., McGrath S.P., 2000. Availability of different forms of sulphur fertilizers to wheat and oilseed rape. *Plant Soil* 222, 139–147.
- Schnug E., Haneklaus S., 2000. Significance of interactions between sulphur nitrogen supply for growth and quality of crop plants. W: Sulphur nutrition and sulphur assimilation in higher plants. Red. C. Brunold et al., Paul Haupt, 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. (Cambridge)* 103, 699–702.
- Szulc W., 2008. Potrzeby nawożenia roślin siarką oraz metody ich wyznaczania. *Rozpr. Nauk.* 332, SGGW, Warszawa.
- Wieser H., Gutser R., von Tucher S., 2004. Influence of sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *J. Cereal Sci.* 40, 239–244.
- Withers P.J.A., Tytherleigh A.R.J., O'Donnell F.M., 1995. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *J. Agric. Sci.* 125, 317–324.
- Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P., 1999a. Effects of sulphur nutrition on growth and nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Soil* 212, 209–219.
- Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P., 1999b. Sulphur nutrition of spring peas. *Asp. Appl. Biol.* 56, 189–194.
- Zukalova H., Matula J., Vasak J., 2001. Effect of sulphur fertilization upon biomass dry matter production dynamics and glucosinolate biosynthesis in three types of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Rośl. Oleiste* 22, 273–284.

INDICATORS OF THE STATE OF NUTRITION OF NARROW-LEAFED LUPIN (*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS* L.) DEPENDING ON THE SULPHUR FORM AND RATE

Summary. The present research was based on a strict field experiment carried out over 2005–2007 at the Experiment Station at Wierzchucinek (53°26' N, 17°79' E) of the Faculty of Agriculture, of the University of Technology and Life Sciences. Due to a growing deficit of sulphur in Polish soils, research has been launched to determine the effect of varied forms and doses of this nutrient on the content nitrogen, sulphur total and sulphate (VI) in Elf cultivar narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.). The two-factor field experiment carried out in crop rotation with narrow-leaved lupin in light soil (good rye complex, soil valuation class IIIb) on *Haplic Luvisol* of low richness in sulphate (VI). The experiment was set up with split-plot, involved of sulphur elemental (Siarkol Extra 80 WP) and ionic forms (Na_2SO_4). The nutrient was supplied at the following doses: 0, 20, 40, 60 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. The research has demonstrated that in the narrow-leaved lupin leaves sampled at the beginning

of the flowering stage, the total content of sulphur, its sulphate (VI) form, as well as the value of the ratios of $S-SO_4^{2-}$ to S total and N to S were more determined by the sulphur rate than its form. The application of each of the rates of that nutrient (20, 40 and 60 kg S·ha⁻¹) significantly increased the content of total and sulphate (VI) in leaves, as compared with the control. The ionic form of the fertiliser, in general, showed a significantly more favourable effect, than the elementary form, on the content of total and sulphate (VI) sulphur in lupin leaves. The sulphur application resulted in broadening the quantitative ratio of sulphate sulphur (VI) to its total form in lupin leaves, as compared with the non-fertilised object, while the ratio of the content of nitrogen to sulphur (N to S) for the successive rates studied was narrowing. It seems that the N to S ratio is the most credible measure of the supply of plants with sulphur than the other indicators (S_{tot} , $S-SO_4^{2-}$, $S-SO_4^{2-}:S_{tot}$).

Key words: narrow-leaf lupin, sulphur fertilisation, nitrogen, sulphate (VI), N:S