

Monika Jakubus, Piotr Toboła*

Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Gleboznawstwa, * Katedra Uprawy Roli i Roślin

Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w rzepaku ozimym w zależności od nawożenia

Content of total and sulphate sulphur in winter oilseed rape depending on fertilization

Słowa kluczowe: rzepak, siarka ogólna, siarka siarczanowa, termin nawożenia

W pracy podjęto badania nad wpływem rodzaju nawozu oraz terminu jego stosowania na zawartość siarki ogólnej oraz siarczanowej w rzepaku ozimym. Badania realizowano w oparciu o 3-letnie doświadczenie polowe, którego schemat obejmował kombinacje z nawozami wysianymi przedsięwzięcie (superfosfat pojedynczy, siarczan potasu, S elementarna, gips oraz siarczan amonu), pogłównie (gips oraz siarczan amonu) oraz dolistnie (siarczan amonu). Rośliną uprawianą był rzepak ozimy odmiany Lirajet. Próbki roślin pobierano w pięciu fazach rozwojowych rzepaku, określonych według klucza BBCH.

W badaniach potwierdzono fakt, iż wraz z wiekiem rośliny wzrastała zawartość siarki ogólnej, jak i siarczanowej, co wyraziło się ich najwyższymi ilościami w fazie kwitnienia (IV termin zbioru). Uśredniając dane z 3 lat badań wartości te dla siarki ogólnej wahały się w zakresie od 0,80 do 1,09%, a dla siarki siarczanowej od 0,39 do 0,52%. Ponadto stwierdzono, iż w wyniku pogłównego nawożenia rzepaku siarczanem amonu i gipsem nastąpił w nim 2-krotny wzrost zawartości S-SO₄ oraz 1,5-krotny Sog w stosunku do kontroli. Kontrastowo najsłabszym wpływem na poziom obu form składnika w materiale roślinnym charakteryzowały się siarka elementarna oraz siarczan amonu stosowany w dokarmianiu dolistnym. Pomimo tego, pobranie składnika z plonem w warunkach nawożenia siarką elementarną było jednym z większych (19 kg·ha⁻¹) obok gipsu i siarczanu amonu stosowanych przedsięwzięcie.

Key words: oilseed rape, total sulphur, sulphur sulphate, time of fertilization

The research work on influence of the kind of fertilizer and the time of its application on total and sulphate sulphur content in winter oilseed rape was performed. The study was realized on the basis of a 3-year field experiment carried out on cambisols with winter oilseed rape 'Lirajet'. The scheme of randomized blocks method included combinations of fertilizers applied presowing (single superphosphate, potassium sulphate, elemental S, gypsum and ammonium sulphate), as top dressing after spring vegetation renewal (gypsum and ammonium sulphate) and as foliar application (ammonium sulphate). The tested agents were fertilizers applied to soil in autumn or spring in the amounts corresponding to the dose of 50 kg S·ha⁻¹, and 7.2 kg S·ha⁻¹ in the case of fertilizer used as foliar application. The plant samples were collected in V terms corresponding to the particular growth stages of winter oilseed rape, determined according to BBCH key.

The research confirmed the fact that total sulphur content as well as sulphate content increase with the age of a plant and the highest content was recorded at flowering (IVth term of sampling). On average of 3 years these values changed in the range from 0.80 to 1.09% for total sulphur and

from 0.39 to 0.52% for sulphate sulphur. Also time of application and a kind of fertilizer had some importance in shaping of sulphur level in a plant. It was especially distinct on treatments with ammonium sulphate and gypsum applied as top dressing. As a result of this type of fertilization was twofold increase in content of S-SO₄ and 1.5-time of total S in plant material in comparison to control. Ammonium sulphate used before sowing and its foliar application influenced the amounts of total sulphur in seeds of winter oilseed rape. In contrast elemental sulphur and ammonium sulphate in foliar application had the weakest influence on the level of content of both sulphur forms in plants. Nevertheless, compound uptake by winter rape under elemental sulphur application was one of the biggest next to gypsum and ammonium sulphate applied before sowing.

As a result of the performed field experiment it was found that applied sulphur fertilization did not increased significantly the seed yield of oilseed rape. Taking into consideration the efficiency of used fertilizers, single superphosphate revealed low effect on crop yield. Also no significant influence of fertilizers on sulphur content in seed was found.

Wstęp

Rośliny krzyżowe charakteryzują się szczególnie wysokim zapotrzebowaniem na siarkę. Jest to związane z szeregiem funkcji fizjologicznych, wśród których należy wymienić biosyntezę aminokwasów siarkowych czy syntezę i akumulację glukozyolanów (Schnug 1997). Deficyt siarki u roślin wywołuje głównie obniżkę plonów nawet o 50% (Bloem 1998) oraz spadek wartości pokarmowej paszy (Wielebski i Muśnicki 1998, Haneklaus i in. 1999). Zdaniem cytowanej Bloem (1998), właściwe zaopatrzenie w siarkę ma znaczenie głównie produkcyjne. Wiąże się to z niepełnym wykorzystaniem azotu przez rośliny przy braku siarki, co z kolei ma swoje konsekwencje w redukcji plonów oraz pogorszeniu ich jakości. W związku z tym, problem właściwej diagnostyki zaopatrzenia roślin w siarkę pozostaje wciąż aktualny.

Dotychczas nawożenie składnikiem odbywało się niejako przy okazji stosowania nawozów typu superfosfat pojedynczy, siarczan amonu, siarczan potasu czy kainit, w których to siarka jest składnikiem ubocznym. Ostatnie lata przyniosły zainteresowanie nawozami typu gips czy siarka elementarna. Charakteryzują się one wysoką koncentracją siarki, ale ich rozkład, a co za tym idzie udostępnienie składnika jest wolne (McGrath i in. 2003, Messick i in. 2003). Wiadomym jest, iż efektywność plonotwórcza uzależniona jest nie tylko od typu nawozu, ale również terminu jego stosowania. Standardowo w uprawie rzepaku proponuje się wysiew przedsięwny bądź przy ruszeniu wegetacji (Wałkowski i in. 2002). W tym aspekcie brak szerszych badań dotyczących gipsu i S elementarnej.

Wobec powyższego przeprowadzono doświadczenia związane z wpływem rodzaju nawozu oraz terminu jego stosowania na zawartość siarki ogólnej oraz siarczanowej w rzepaku ozimym.

Material i metody

Badania przeprowadzono na materiale roślinnym pochodzącym z 3-letniego (2001–2004) doświadczenia polowego zlokalizowanego w RZD Przybroda (szer. geogr. 16°39', dł. geogr. 52°31'), należącego do Katedry Uprawy Roli i Roślin Akademii Rolniczej w Poznaniu. Doświadczenie założono na glebach brunatnych właściwych (Cambisols Eutric wg WRB, Toruń 2003) o składzie granulometrycznym w warstwie ornej piasku gliniastego mocnego. Gleby te zaliczane są do kompleksu przydatności rolniczej — pszennej dobrej i klasy bonitacyjnej IIIa. Podstawowe właściwości chemiczne gleby prezentuje tabela 1.

Tabela 1

Wybrane właściwości chemiczne gleby w poziomie próchnicznym (średnia z lat badań)
Some chemical properties of soil humus layer (mean for experimental years)

Właściwość	Zawartość
pH KCl	5,7
Nog [g·kg ⁻¹]	1,10
Corg [g·kg ⁻¹]	9,52
P ₂ O ₅ [mg·kg ⁻¹]	163,0
K ₂ O [mg·kg ⁻¹]	211,5
S-SO ₄ [mg·kg ⁻¹]	13,2
Sog [g·kg ⁻¹]	0,18

Obiekty badawcze założono metodą losowanych bloków z jednym czynnikiem w czterech powtórzeniach. Badanym czynnikiem były nawozy stosowane doglebowo jesienią lub wiosną w ilościach odpowiadających dawce 50 kg S·ha⁻¹ oraz nawóz stosowany dolistnie w okresie wiosennym.

Poniższy schemat prezentuje dobór zastosowanych nawozów.

Obiekt nawozowy <i>Treatment</i>	Termin stosowania <i>Term of application</i>	Dawka <i>Dose [kg S·ha⁻¹]</i>
1. Kontrola — <i>Control</i>		0
2. Superfosfat prosty — <i>Single superphosphate</i>	jesień — <i>autum</i>	50
3. Siarczan potasu — <i>Potassium sulphate</i>	jesień — <i>autum</i>	50
4. Siarczan amonu — <i>Ammonium sulphate</i>	jesień — <i>autum</i>	50
5. Gips — <i>Gypsum</i>	jesień — <i>autum</i>	50
6. Siarka elementarna — <i>Elemental sulphur</i>	jesień — <i>autum</i>	50
7. Siarczan amonu — <i>Ammonium sulphate</i>	wiosną — <i>spring</i>	50
8. Gips — <i>Gypsum</i>	wiosną — <i>spring</i>	50
9. Siarczan amonu — <i>Ammonium sulphate</i>	wiosną (dolistnie) <i>spring (foliar application)</i>	7,2

Z danych zawartych w tabeli 2 wynika, że dla plonowania rzepaku najkorzystniejsze warunki pogodowe wystąpiły w sezonie wegetacyjnym 2003/2004, w którym jedynie w kwietniu zanotowano niedostatek opadów. W pozostałych latach warunki hydrotermiczne były mniej sprzyjające. W sezonie 2001/2002 jesienią rzepak rozwinął się słabo z powodu deszczowej pogody oraz opóźnionego tym stanem pogody siewu. Ponadto w okresie dojrzewania wystąpił okres posuchy. Również w sezonie 2002/2003 warunki nie były korzystne, ze względu na mrozowe uszkodzenia systemu korzeniowego w przypowierzchniowej warstwie gleby oraz niedostatek opadów w maju i czerwcu.

Tabela 2

Charakterystyka warunków pogodowych w Przybrodzie
Characteristics of weather conditions in Przybroda

Miesiąc <i>Month</i>	Temperatura — <i>Temperature</i> [°C]				Opady — <i>Rainfall</i> [mm]			
	2001 /2002	2002 /2003	2003 /2004	1984 –2003	2001 /2002	2002 /2003	2003 /2004	1984 –2003
VIII	20,4	22,0	20,9	15,8	64	53	15	60
IX	12,3	14,3	15,2	11,5	95	29	20	46
X	11,8	7,4	5,6	7,7	30	92	28	39
XI	3,5	3,7	5,2	2,5	17	49	21	36
XII	–1,5	–3,8	1,6	0,7	27	11	32	36
I	0,1	–2,3	–3,9	–0,5	31	49	46	27
II	4,0	–3,3	1,4	–0,1	58	7	24	28
III	4,4	3,3	4,2	2,5	46	11	12	37
IV	9,3	8,9	9,7	7,7	31	25	15	30
V	17,2	16,2	13,1	12,3	54	15	47	41
VI	18,6	20,0	16,8	14,4	36	25	64	67
VII	20,6	20,8	18,5	16,3	27	86	42	78

Nawożenie NPK było zbilansowane i kształtowało się na poziomie 44 kg N·ha⁻¹ jesienią i 130 kg N·ha⁻¹ wiosną w postaci mocznika oraz 71 kg P₂O₅·ha⁻¹ i 139 kg K₂O·ha⁻¹ zastosowanych w okresie jesiennym w formie superfosfatu potrójnego oraz soli potasowej 60%. Uprawianą rośliną był rzepak ozimy odmiany Lirajet, będący w stanowisku po jęczmieniu ozimym w 4-polowym zmianowaniu.

Materiał roślinny stanowiły liście w liczbie 20–30 sztuk z każdego obiektu. W tym wypadku przyjęto zasadę pobierania po 1–2 najmłodsze, ale w pełni wykształcone liście z rośliny. Próbkę roślin do analiz były pobierane w pięciu terminach odpowiadających poszczególnym fazom wzrostu rzepaku ozimego określonym według klucza BBCH (Adamczeski i Matysiak 2002) jak podano poniżej:

Termin	Faza według klucza BBCH
I	15–17
II	20–22
III	55–59
IV	65
V	99

Pozyskany materiał wysuszono w temperaturze 50°C, a następnie zmielono. W tak przygotowanych próbkach roślinnych oznaczano:

- siarkę ogólną — według procedury badawczej ChR.PB.24 z 31.03.2000,
- siarkę siarczanową — metodą turbidimetryczną Buttersa i Chenery (1959),
- azot ogólny — metodą destylacyjną Kjeldahla po uprzedniej mineralizacji z H₂SO₄.

W oparciu o zawartość azotu i siarki w roślinie w IV terminie zbioru obliczono wzajemny stosunek ilościowy tych dwóch składników. Plon nasion podano przy 13% wilgotności i dla niego określono tylko zawartość S ogólnej.

Analizy chemiczne wykonano na próbkach średnich dla poszczególnych obiektów doświadczenia, natomiast plony nasion oznaczono w 3–4 powtórzeniach polowych. Dane zaprezentowane w pracy są średnimi z 3 lat badań. Uzyskane wyniki poddano ocenie formalnej w analizach wariancji właściwych poszczególnym układom doświadczeń. Dla porównania średnich obiektowych wykonano wielokrotny test Tukeya. Wszystkie testy, ogólne i szczegółowe, wykonano na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Niezależnie od zastosowanego nawożenia ilość siarki siarczanowej w organach roślin podlegała zmianom ilościowym w okresie wegetacji. Zawartość omawianej formy składnika określona w próbkach roślinnych z I i II terminu pobrania była najniższa i średnio dla lat badań wahała się w zakresie 0,10–0,16% (tab. 3).

Analizując wpływ terminu wysiewu nawozów na zawartość siarki siarczanowej w roślinach stwierdzono, że wiosenny wysiew nawozów okazał się nieznacznie lepszy od jesiennego (rys. 1A). Konsekwencją tego może być fakt, iż efekt jesiennego stosowania nawozów na zmiany ilościowe omawianej formy składnika ujawnił się zasadniczo późno, tzn. w pełni kwitnienia (IV termin). W omawianym terminie nastąpił 2,5- do 3,5-krotny wzrost ilości S-SO₄ w porównaniu ze stwierdzoną w I terminie (tab. 3).

Równie spektakularne przyrosty ilościowe, ale głównie zaznaczone w fazie wydłużania się pędu (III termin), odnotowano w warunkach wiosennego stosowania siarczanu amonu (obiekt 7) oraz gipsu (obiekt 8), co wpłynęło na wzrost zawartości odpowiednio o 69 i 81% w stosunku do kontroli (tab. 3). Grant i in.

Tabela 3

Zawartość siarki siarczanowej [%] w materiale roślinnym
Content of sulphur sulphate [%] in plant material

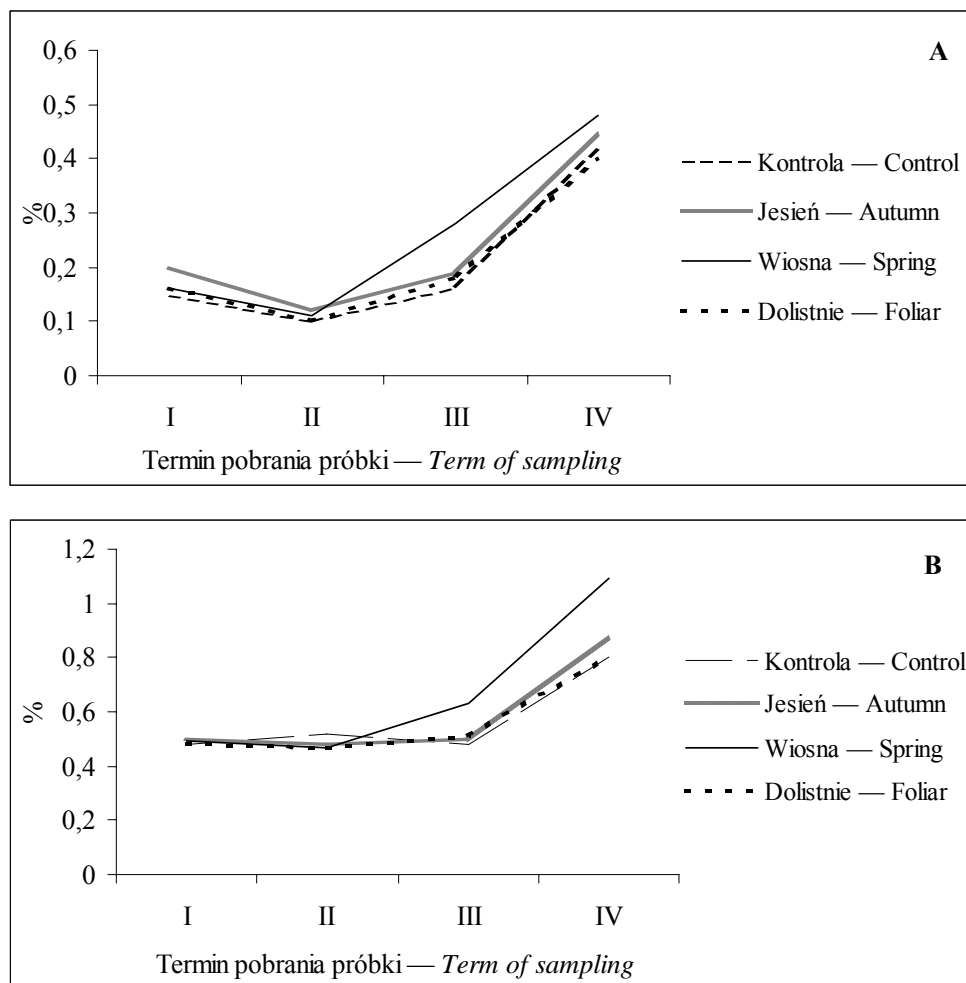
Obiekt <i>Treatment</i>	Termin pobrania próbki — <i>Term of plant sampling</i>				Średnio <i>Mean</i>	SD	V [%]
	I	II	III	IV			
1	0,15	0,10	0,16	0,42	0,21	0,13	61,9
2	0,16	0,14	0,20	0,41	0,23	0,10	43,4
3	0,13	0,11	0,20	0,45	0,22	0,15	68,2
4	0,15	0,12	0,19	0,52	0,25	0,16	64,0
5	0,15	0,11	0,18	0,49	0,23	0,15	65,2
6	0,13	0,11	0,16	0,39	0,20	0,11	55,0
7	0,16	0,11	0,27	0,51	0,26	0,15	57,7
8	0,15	0,11	0,29	0,45	0,25	0,13	52,0
9	0,16	0,10	0,18	0,40	0,21	0,11	52,4
NIR _{$\alpha=0,05$}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.			

r.n. — różnice nieistotne — *not significant differences*

(2003) oraz Kozłowska–Strawska i Kaczor (2003) w swoich badaniach również wykazali korzystny wpływ siarczanu amonu na kształtowanie się zawartości siarki siarczanowej w rzepaku, podkreślając jednocześnie, omawiany powyżej, sezonowy kierunek zmian tej formy składnika w organach wegetatywnych roślin.

Skład chemiczny roślin w dużej mierze jest warunkowany dostępnością pierwiastka z roztworu glebowego, stąd też postać siarczanowa siarki daje lepsze i szybsze efekty. Forma pierwiastkowa ze względu na fakt konieczności utlenienia do SO_4^{2-} działa wolniej, ale stabilniej. Badania Granta i in. (2003) oraz własne potwierdziły powyższe założenie, wykazując najslabsze oddziaływanie siarki elementarnej na koncentrację składnika w roślinach (0,20% S-SO₄). Na tym tle, warty odnotowania jest korzystny wpływ siarczanu amonu oraz gipsu, przy stosowaniu których w roślinach stwierdzono od 0,23 do 0,26% S-SO₄ (tab. 3).

Wśród badaczy zajmujących się oceną odżywienia roślin siarką nie ma zgodności co do trafności wyboru testów roślinnych. W grupie tej najczęściej wskazuje się na zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w organach roślin oraz wartość N : S (McGrath i Zhao 1996, Zhao i in. 1997, Blake-Kalff i in. 2003). Jednakże większą rolę w tym aspekcie przywiązuje się do zawartości siarki ogólnej lub też stosunku N : S, dla których to indeksów diagnostycznych opracowano wartości graniczne mówiące o niedoborowej bądź wystarczającej ilości składnika w roślinach.



Rys. 1. Wpływ terminu wysiewu nawozów na zmiany ilościowe siarki siarczanowej (A) oraz ogólnej (B) w materiale roślinnym w zależności od terminu pobrania próbki — *Influence of fertilizers application term on quantity differences of sulphur sulphate (A) and total sulphur (B) in plant material depending on term of sampling*

Zawartość siarki ogólnej traktowana jest jako miarodajny wskaźnik diagnostyczny mówiący o stanie odżywienia rośliny tym składnikiem. Takie założenie w dużej mierze wynika z faktu, iż zawartość siarki ogólnej w okresie wegetacji jest względnie stabilna, pomimo iż jak twierdzą McGrath i in. (1996), siarka podobnie jak azot ogólny podlega zmianom ilościowym. Wyniki z badań własnych potwierdzają opinie o małej zmienności zawartości siarki ogólnej w roślinach podczas sezonu wegetacyjnego. Ilość składnika stwierdzona w fazie kwitnienia, przypadającej

na najintensywniejszy okres pobrania siarki, była zaledwie 1,5–2 razy wyższa w porównaniu z ilością określoną w materiale zgromadzonym w I terminie zbioru (tab. 4).

Tabela 4

Zawartość siarki ogólnej [%] w materiale roślinnym
Content of total sulphur [%] in plant material

Obiekt <i>Treatment</i>	Termin pobrania próbki — <i>Term of plant sampling</i>					Średnio <i>Mean</i>	SD	V [%]
	I	II	III	IV	N : S w IV			
1	0,48	0,52	0,48	0,80	5	0,57	0,14	24,6
2	0,48	0,50	0,47	0,88	5	0,58	0,17	29,3
3	0,50	0,46	0,51	0,84	5	0,58	0,15	25,9
4	0,51	0,49	0,49	0,89	5	0,60	0,17	28,3
5	0,50	0,48	0,56	0,86	5	0,60	0,15	25,0
6	0,52	0,47	0,48	0,92	5	0,60	0,19	31,7
7	0,52	0,47	0,62	1,09	4	0,67	0,25	37,3
8	0,46	0,47	0,64	1,08	4	0,66	0,25	37,9
9	0,48	0,47	0,51	0,81	5	0,57	0,14	24,6
NIR _{α = 0,05}	r.n.	0,032	0,097	0,146				

r.n. — różnice nieistotne — *not significant differences*

W kontekście zmian ilościowych siarki ogólnej należy podkreślić słaby wpływ zastosowanych wariantów nawożenia. Zestawiając dane dotyczące nawożenia jesiennego i wiosennego oraz aplikacji nalistnej w porównaniu z kontrolą najkorzystniejszą na koncentrację siarki ogólnej w roślinach działało wiosenne stosowanie nawozów (rys. 1B). Całkowita ilość składnika pod wpływem siarczanu amonu (obiekt 7) oraz gipsu (obiekt 8) była wyższa o 36% w stosunku do tych określonych dla kontroli. Pozytywny wpływ siarczanu amonu wiosną na zawartość siarki ogólnej zaobserwowała również Krauze i Bowszys (2000).

Pomimo, iż przydatność diagnostyczna zawartości ogólnej siarki w roślinach budzi wiele kontrowersji, większość badaczy zajmujących się tą problematyką opiera się o określone graniczne wartości tego wskaźnika, i tak McGrath i in. (1996) uważają, że najlepszym wskaźnikiem niedoborów siarki w rzepaku jest zawartość 4 mg Sog·g⁻¹ s.m. w młodych liściach zebranych w początkowym okresie kwitnienia. Odnosząc to do danych zestawionych w tabeli 4 dla terminu IV można stwierdzić, iż zawartość siarki ogólnej zdecydowanie przewyższała dyskusowaną wartość 2-, a nawet 4-krotnie, wskazując na dobre zaopatrzenie rzepaku w siarkę. Z kolei Schnug i Haneklaus (1994) podają wartość 0,65% Sog w młodych liściach w fazie wydłużania pędu jako graniczną do osiągnięcia maksymalnego plonu rzepaku. Całkowita ilość składnika w materiale z III terminu zbioru, nawożonego wiosną siarczanem amonu i gipsem, mimo iż miała zbliżoną

wartość do przytaczanej, to jednak, jak prezentuje tabela 6, nie zapewniło to plonu, który na tle innych wariantów nawozowych wyróżniałby się.

W pracy dodatkowo przeanalizowano ewentualne zmiany wartości N : S zachodzące w wyniku zastosowanego w doświadczeniu nawożenia. Przyjmuje się, że jego wartość zmienia się wraz z wiekiem rośliny, ale jednocześnie jest mniej podatna na wpływ nawożenia, co według Blake-Kalff i in. (2003), jak również Grant i in. (2003), czyni go wiarygodnym narzędziem do oceny zaopatrzenia roślin w siarkę. Z kolei takiemu stanowisku przeczą Zhao i in. (1997) wykazując, iż zależy on między innymi od stanu odżywienia rośliny siarką, jak i odmiany rzepaku jedno- lub dwuzerowej.

Jednakże niezależnie od stanowiska w tej kwestii dane literaturowe wskazują, iż krytyczna wartość N : S wynosi 6–10 : 1 (Blake-Kalff i in. 2003). Jednocześnie Schnug i Haneklaus (1998) twierdzą, że w oparciu o stosunek N : S w młodych liściach rzepaku w fazie kwitnienia, wynoszący 8–6 : 1 można wnioskować czy rośliny dysponowały odpowiednim poziomem siarki do uzyskania maksymalnego plonu. W badaniach własnych rzepak zebrany w okresie kwitnienia, niezależnie od typu i dawki zastosowanego nawozu, wykazał wąski zakres wartości N : S od 4–5 : 1 (tab. 4). W świetle tych danych trudno w sposób jednoznaczny przychylić się bądź zaprzeczyć wynikom Grant i in. (2003). Cytowani autorzy w doświadczeniach z różnymi typami nawozów zawierających siarkę stwierdzili, że najmniej korzystnym oddziaływaniem na kształtowanie się wartości N : S charakteryzowała się siarka elementarna, a najbardziej pozytywnie wpłynął siarczan amonu.

Również zawartość siarki ogólnej w nasionach charakteryzowała się dużą powtarzalnością w latach badań oraz małym zróżnicowaniem między obiektami doświadczenia (tab. 5). Wartość omawianej cechy wahała się w zakresie od 0,42 do 0,47%, przy czym najwyższa wartość została określona w nasionach z obiektów nawożonych przedsięwzięciem jesienią siarczanem amonu. Korzystny efekt tego nawozu nie tylko w stosowaniu doglebowym, ale także w aplikacji nalistnej uwypukla rysunek 2.

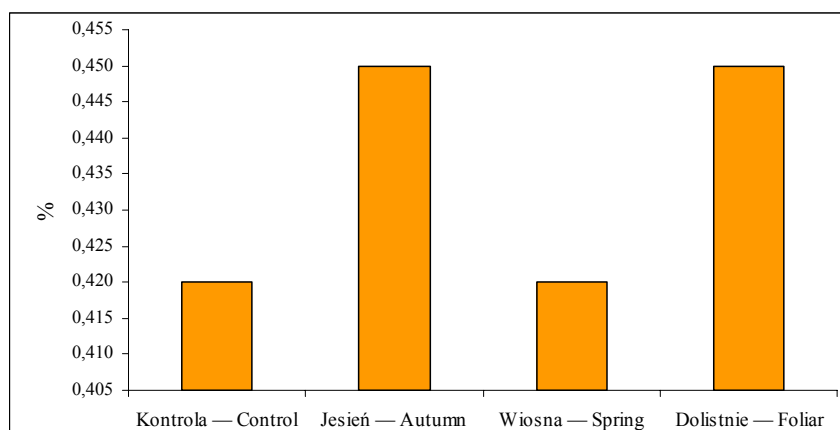
Logiczną konsekwencją nieznacznej zmienności zawartości siarki ogólnej w nasionach były porównywalne między obiektami doświadczenia ilości siarki pobranej z plonem (tab. 5). O ścisłym związku pomiędzy obu parametrami świadczy uzyskany współczynnik korelacji: $r = 0,871^{**}$. Określono również dodatnie interakcje pomiędzy plonem nasion a pobraniem siarki ($r = 0.737^{**}$).

Tabela 5

Zawartość siarki ogólnej [%] w nasionach rzepaku oraz pobranie siarki wraz z plonem (średnia z lat badań) — *Content of total sulphur [%] in seeds of winter rapeseed and sulphur uptake with yield (mean for experimental years)*

Obiekt <i>Treatment</i>	Lata badań <i>Years of experiments</i>			Średnio <i>Mean</i>	SD	V [%]	Pobranie <i>Uptake</i> [kg·ha ⁻¹]
	2002	2003	2004				
1	0,44	0,41	0,41	0,42	0,01	2,3	16,7
2	0,50	0,43	0,41	0,44	0,04	9,1	17,5
3	0,45	0,42	0,38	0,42	0,03	7,1	17,8
4	0,43	0,40	0,57	0,47	0,07	14,9	19,4
5	0,48	0,48	0,43	0,46	0,02	4,3	19,7
6	0,49	0,45	0,40	0,45	0,04	8,9	19,0
7	0,40	0,04	0,41	0,42	0,02	4,8	17,4
8	0,49	0,44	0,37	0,43	0,05	11,6	18,2
9	0,51	0,44	0,39	0,45	0,05	11,1	18,7
NIR _{α=0,05}				r.n.			r.n.

r.n. — różnice nieistotne — *not significant differences*



Rys. 2. Zmiany ilościowe siarki ogólnej w nasionach rzepaku w zależności od terminu wysiewu nawozów — *Quantity changes of total sulphur in oilseed rape seeds depending on term of fertilizers application*

Jak donoszą Janzen i Bettany (1984), czas aplikacji nawozów siarkowych wpływa w zasadniczy sposób na pobranie oraz plon roślin. Szczególnie pozytywne działanie na oba parametry autorzy określili dla nawożenia wykonanego w fazie pąkowania. Analizując dane z tabeli 5 oraz 6 trudno przychylić się do tych spostrzeżeń. W sposób bardziej zdefiniowany w literaturze jest określona siła

reakcji roślin uprawnych na nawożenie siarką. McGrath i in. (2003) podają, że w doświadczeniach przeprowadzonych w Europie Zachodniej zwyczajki plonu rzepaku w wyniku nawożenia związkami siarki wyniosły od 1,6 do 27,1 dt·ha⁻¹. Również polskie dane literaturowe wskazują na taką zależność. Krauze i Bowszys (2000) wykazały efekt plonotwórczy siarki, przy czym istotny statystycznie był on w przypadku pogłównego stosowania oraz dolistnej aplikacji siarczanu amonu. Na stosunkowo niewielką reakcję rzepaku na nawożenie siarką, wyrażoną zwyczajką plonu rzędu 0,1–0,2 t·ha⁻¹, wskazuje Fotyma (2003). Z kolei Podleśna (2003) przy generalnie pozytywnym wpływie siarki na plon roślin odnotowała wyjątek od tej zależności. Cytowana autorka zaistniałą sytuację powiązała z niekorzystnym układem wielu czynników środowiska, między innymi warunkami pogodowymi czy też niedoborem innego składnika pokarmowego. W pewnym sensie niekorzystny wpływ elementów pogody może także tłumaczyć, uzyskane w badaniach własnych, zasadniczo niskie plony w latach 2002–2003. Jedynie sezon 2003/2004 charakteryzował się najkorzystniejszymi warunkami pogodowymi dla plonowania rzepaku.

Tabela 6

Plon nasion rzepaku w zależności od rodzaju nawozu [dt·ha⁻¹]
Winter rape seed yield depending on type of fertilization

Obiekt <i>Treatment</i>	2001	2002	2003	Średnio za lata badań <i>Mean for experimental years</i>
1	19,8	24,8	74,7	39,8
2	22,3	24,0	72,7	39,7
3	25,0	26,6	74,5	42,4
4	22,8	27,9	74,7	41,3
5	26,0	28,0	74,7	42,9
6	24,6	26,1	74,4	42,3
7	24,6	24,1	73,2	41,3
8	26,3	24,1	76,1	42,2
9	21,7	25,6	77,6	41,6
NIR _{α=0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.

r.n. — różnice nieistotne — *not significant differences*

Niezaprzeczalnym faktem jest, iż efekt plonotwórczy siarki szczególnie wyraźnie zaznacza się w warunkach deficytu tego składnika. W przeprowadzonym doświadczeniu w warunkach gleb o średniej zasobności w siarkę ogólną, uzyskane zwyczajki plonu nasion wskutek nawożenia siarką okazały się statystycznie nieistotne (tab. 6), choć generalnie był zauważalny wzrost plonu nasion pod wpływem nawożenia siarką. Podobne stanowisko prezentują Wielebski i Wójtowicz (2003), którzy w warunkach optymalnego i bardzo wysokiego zaopatrzenia roślin w siarkę stwierdzili brak istotnego wpływu nawożenia tym składnikiem na plon nasion.

Spośród zastosowanej gamy nawozów, superfosfat prosty w sposób wyraźny nie wykazał żadnego działania plonotwórczego. Pozostałe nawozy wywołały zwiększenie plonu o 1,5–3,1 dt·ha⁻¹, tj. o 4–8%. Prawdopodobną przyczyną słabej efektywności nawozowej superfosfatu było jego zbrylenie. Jak wskazują dane literaturowe (Gupta i in. 1997, Messick i in. 2003), niezależnie od nawozu zastosowanego jako źródła siarki, maksymalne rozdrobnienie masy nawozowej sprzyja jego rozpuszczaniu, a co za tym idzie, uruchamianiu aktywnych form składnika dla roślin.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonego doświadczenia stwierdzono, że zastosowane nawozy zawierające siarkę nie spowodowały istotnego przyrostu plonu nasion rzepaku ozimego. Biorąc pod uwagę efektywność użytych nawozów, superfosfat prosty ujawnił słabe oddziaływanie na plon roślin.

Najwyższa zawartość siarki siarczanowej oraz ogólnej w materiale roślinnym była determinowana wiosennym stosowaniem siarczanu amonu oraz gipsu. Z kolei całkowita ilość składnika w nasionach była kształtowana głównie przedsięwzięciem stosowaniem siarczanu amonu oraz jego aplikacją nalistną. Natomiast pobranie składnika z plonem nasion było najwyższe na obiektach z siarczanem amonu, gipsem oraz siarką elementarną wysianymi w okresie przedsięwzięciem jesienią.

Literatura

- Adamczewski K., Matysiak K. 2002. Klucz do określenia faz rozwojowych roślin jedno i dwuliściennych w skali BBCH. IOR, Poznań.
- Blake-Kalff M.M.A., Zhao F., McGrath S.P. 2003. Sulphur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. *Nawozy i Nawożenie*, 3: 5-25.
- Bloem E.M. 1998. Schwefel – Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. *Landbauforschung Völkenrode*, SH 192: 1-156.
- Butters B., Chenery E.M. 1959. A rapid method for determination of the total sulphur in soils and plants. *Analist.*, 84: 239-245.
- Fotyma E. 2003. Wpływ nawożenia siarką na wykorzystywanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. *Nawozy i Nawożenie*, 4: 117-136.
- 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. *Ca. J. Soil Sci.*, 83: 451-463.
- Gupta A.K., Paulsen H.M., Haneklaus S., Schnug E. 1997. Comparative efficacy of selected S sources. *Sulphur in Agriculture*, 20: 15-20.

- Haneklaus S., Paulsen H.M., Gupta A.K., Bloem E., Schnug E. 1999. Influence of sulfur fertilization on yield and quality of oilseed rape and mustard. Proc. 10th Int. Rapeseed Congress. Sept. 26-29, 1999, Canberra.
- Janzen H.H., Bettany J.R. 1984. Sulfur nutrition of rapeseed. II. Effect of time of sulfur application. Soil Sci. Soc. Am. J., 48: 107-112.
- Kozłowska-Strawska J., Kaczor A. 2003. Zawartość siarki całkowitej i siarczanowej w roślinach nawożonych różnymi formami azotu i potasu. Nawozy i Nawożenie, 4: 213-220.
- Krauze A., Bowszys T. 2000. Wpływ stosowania różnych technologii nawozów siarkowych na plonowanie i jakość rzepaku ozimego i jarego. Zeszyty naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, Rolnictwo, (81): 133-142.
- McGrath S.P., Zhao F., Withers P.J.A. 1996. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. The Fertiliser Society, Proceedings, 379: 48.
- McGrath S.P., Zhao F.J. 1996. Sulphur uptake, yield response and interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). J. of Agric. Sci., 126: 53-62.
- McGrath S.P., Zhao F., Blake-Kalff M.A. 2003. History and outlook for sulphur fertilizers in Europe. Nawozy i Nawożenie, 2: 5-27.
- Messick D.L., de Brey C., Fan M.X. 2003. Sources of sulphur, their processing and use in fertilizer manufacture. Nawozy i Nawożenie, 2: 81-103.
- Podleśna A. 2003. Wstępna ocena potrzeb nawożenia siarką rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXIV: 641-649.
- Schnug E. 1997. Significance of sulphur for the quality of domesticated plants. In: Sulphur Metabolism in Higher Plants. Ed. W.J. Cram et al., 109-130.
- Schnug E., Haneklaus S. 1994. Sulphur deficiency in *Brassica napus*. Landbauforschung Völkenrode, SH 144: 1-31.
- Schnug E., Haneklaus S. 1998. Diagnosis of sulphur nutrition. In: Sulphur in Agroecosystems. Ed. E. Schnug. Kluwer Academic Publishers: 1-38.
- Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Krzymański J., Wielebski F., Wójtowicz M., Mrówczyński M., Korbas M., Paradowski A., Ochodzki P. 2002. Rzepak ozimy. IHAR, Poznań.
- Wielebski F., Muśnicki Cz. 1998. Zmiany ilościowe i jakościowe u dwóch odmian rzepaku ozimego pod wpływem wzrastających dawek siarki w warunkach kontrolowanego niedoboru siarki (doświadczenia wazonowe). Roczn. AR Poznań 303, Roln., 51: 129-147.
- Wielebski F., Wójtowicz M. 2003. Wpływ wiosennego nawożenia siarką na plon i zawartość glukozyolanów w nasionach odmian mieszańcowych złożonych rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXIV: 109-119.
- Zhao F.J., Bilsborrow P.E., Evans E.J., McGrath S.P. 1997. Nitrogen to sulphur ratio in rapeseed and in rapeseeds protein and its use in diagnosing sulphur deficiency. J. of Plant Nutr., 20 (4&5): 549-558.