

Monika Jakubus, Piotr Toboła*

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

Wpływ nawożenia rzepaku ozimego wzrastającymi dawkami gipsu na zawartość siarki w glebie oraz roślinie*

Influence of fertilization of winter oilseed rape with increasing doses of gypsum on sulphur content in soil and plant

Słowa kluczowe: azot, siarka, faza rozwojowa, testy roślinne i glebowe

W pracy podjęto badania nad wpływem wzrastających dawek siarki na jej ilość w glebie oraz roślinie. Badania realizowano w oparciu o 3-letnie doświadczenie polowe z rzepakiem ozimym założone na glebach czarnych właściwych. Doświadczenie przeprowadzono w układzie split-split-plot. Czynnikiem pierwszego rzędu było nawożenie azotem, czynnikiem drugim nawożenie siarką w postaci gipsu wysianego wiosną, trzeci stanowiły odmiany rzepaku ozimego. Próbkę gleby i roślin pobierano w fazie pąkowania oraz kwitnienia. Oddziaływanie wzrastających dawek siarki na glebę i roślinę określano w oparciu o zawartość siarki siarczanowej w glebie oraz o wskaźniki diagnostyczne roślin takie jak ilość siarki ogólnej i siarczanowej oraz wartość N : S.

Ilość siarki ogólnej oraz siarczanowej stwierdzona w liściach rzepaku zebranych w okresie kwitnienia była 1,5 do 2,0 razy wyższa w stosunku do wartości określonych w tych samych częściach roślin zebranych w fazie pąkowania. Dawki gipsu powyżej 20 kg S·ha⁻¹, niezależnie od poziomu nawożenia azotem, nie różnicowały w zasadniczy sposób zawartości siarki ogólnej i siarczanowej w liściach roślin, natomiast przyczyniły się do zawężenia wartości stosunku N : S w rzepaku.

Współdziałanie nawożenia azotem i siarką na zmiany zawartości S-SO₄ i S_{og} w liściach roślin wykazano w fazie kwitnienia, przy czym zwiększającej się dawce azotu towarzyszyło obniżanie się ich wartości.

Key words: nitrogen, sulphur, developmental stage, soil and plant tissue testing

Research on influence of increasing doses of sulphur on its content in soil and plant was undertaken. Studies were conducted on the basis of 3-year field experiment carried out on cambisols with winter oilseed rape. The experiment was carried out in a split-split-plot arrangement in four field repetitions. The first order factor was nitrogen fertilization which comprised four levels at the following doses (kg N·ha⁻¹): 0, 60, 120, 180. The second order factor was sulphur fertilization which comprised four levels at the following doses of gypsum (kg S·ha⁻¹): 0, 20, 40, 60, 80. The third order factor were two varieties of oilseed rape: Kana and Lirajet. The soil and plant samples (leaves) were collected at budding (I term) and flowering (II term) of winter oilseed rape. The influence of increasing doses of gypsum on soil and plant was defined on the basis of sulphur sulphate content in soil as well as plant tissue analysis (indicators such as total S, sulphate and N : S ratio).

* Praca realizowana w ramach projektu badawczego nr 6 PO 6R04321

The content of sulphur sulphate and available sulphur determined in soil samples collected at budding stage was higher in comparison to the amounts which were found in soil material from II term of sampling. However the quantities of available sulphur were 45% (at 0 kg S·ha⁻¹) — 26% (at 80 kg S·ha⁻¹) higher as compared to sulphate sulphur content. Aside from quantitative differences between both tested fractions of sulphur, the direction of changes which they underwent in soil was similar. Under conditions of increasing doses of gypsum the concentrations of sulphur sulphate and available sulphur in soil increased too. The mean content of sulphur sulphate for both terms of sampling amounted from 11.03 mg·kg⁻¹ at 0 kg S·ha⁻¹ to 32.26 mg·kg⁻¹ at 80 kg S·ha⁻¹, then the content of available sulphur ranged from 16.0 mg·kg⁻¹ in control soil to 40.94 mg·kg⁻¹ in samples fertilized with gypsum dose of 80 kg S·ha⁻¹. Independently of applied nitrogen fertilization and term of sampling, the soil samples from objects with dose of 80 kg S·ha⁻¹ revealed 3.0-fold and 2.5-fold higher content of sulphur sulphate and available sulphur respectively in comparison to the amounts assayed in control soil.

During vegetation period the concentration of total and sulphate sulphur in plants underwent quantitative changes. Under conditions of increasing doses of gypsum the concentrations of total sulphur and sulphur sulphate in plants increased too. The content of S_{og} and S-SO₄ determined in leaves of winter oilseed rape collected at flowering stage were respectively 1.5 and 2.0-fold higher in comparison to the amounts which were found in plant material from I term of sampling. The mean content of total sulphur for both terms of plant sampling ranged from 0.76% at 0 kg S·ha⁻¹ to 0.92% at 80 kg S·ha⁻¹ and concentration of sulphur sulphate increased from 0.42% at 0 kg S·ha⁻¹ to 0.52% at 80 kg S·ha⁻¹. It is worth noticing that a dose of over 20 kg of gypsum per hectare did not cause radical changes in the amount of total and sulphate sulphur both at budding and flowering of winter oilseed rape. Besides, leaves of oilseed rape collected at flowering stage showed narrow range of values of N : S ratio i.e. 5–6 : 1, and at the same time increasing doses of gypsum caused the decrease of discussed indicator.

Studies showed that the interaction of nitrogen and sulphur fertilization on total and sulphate sulphur content was found only during flowering stage.

Wstęp

Konieczność nawożenia siarką rzepaku, rośliny uprawnej o największym zapotrzebowaniu na ten składnik (rzędu 50–70 kg S·ha⁻¹), jest bezsprzecznym i udokumentowanym faktem (Zhao i in. 2003, Wielebski i Muśnicki 1998, Szukalski i in. 1985). Wynika to głównie z obecności w składzie chemicznym roślin z rodziny *Brassicaceae* wtórnych metabolitów siarkowych utożsamianych głównie z glukozynolanami. Uważa się, że związki te mogą być dla rośliny źródłem węgla, azotu oraz siarki, a ponadto łącznie z rozkładającym je enzymem mirozynazą stanowią dwuskładnikowy system obrony roślin przeciwko patogenom i szkodnikom (Troczyńska 2005).

Odpowiednie zaopatrzenie rzepaku w siarkę wpływa także na prawidłowy przebieg procesów enzymatycznych, oksydoredukcyjnych oraz metaboliczne przemiany azotu (Asare i Scarisbrick 1995). W tym kontekście Zhao i in. (1997) podkreślają, że deficyt siarki sprzyja gromadzeniu się niebiałkowych związków azotowych, które powodują podwyższenie wartości N : S w stosunku do tej, jaka jest charakterystyczna dla białek.

Tak więc optymalne zaopatrzenie rzepaku w siarkę kształtuje jego wielkość i jakość plonu, natomiast nadmiar siarki może indukować niedobór u roślin innych składników, takich jak miedź, molibden czy selen (Blake-Kalff i in. 2003). Z kolei w środowisku glebowym siarka zastosowana w zbyt wysokich dawkach, niewykorzystanych przez rośliny, może wywoływać jego chemiczną degradację bądź podlegać wymyciu do wód gruntowych.

Wobec powyższego prawidłowa agrotechnika rzepaku powinna opierać się na właściwie zbilansowanych dawkach siarki nawozowej. Jednakże ich ustalenie nie jest łatwe. Jest to związane z sezonowością i szeregiem przemian, jakim podlega ten składnik w glebie. Wykorzystanie wiarygodnych metod diagnozujących stan zaopatrzenia gleby i roślin w siarkę pomaga we właściwym określeniu poziomu dawki nawozu. Spośród licznie stosowanych testów glebowych najszersze znaczenie w prognozowaniu zasobności gleb w siarkę mają te, które opisują frakcje przyswajalne i dostępne pierwiastka, czyli stanowiące potencjalne źródło składnika dla rośliny. Obok nich, za znacznie bardziej miarodajne uważa się wskaźniki diagnostyczne roślin oparte o zawartość siarki ogólnej i siarczanowej oraz wartość N : S (Blake-Kalff i in. 2003, Walker i Dawson 2003).

W pracy analizowano oddziaływanie wzrastających dawek gipsu na zmiany ilościowe siarki siarczanowej i przyswajalnej w glebie oraz siarki ogólnej i siarczanowej w liściach roślin zebranych w fazie pąkowania oraz kwitnienia rzepaku. Ponadto w badaniach określono współdziałanie nawożenia azotem i siarką w kształtowaniu koncentracji siarki ogólnej i siarczanowej w liściach rzepaku.

Material i metody

Materiał roślinny oraz glebowy wykorzystany w badaniach pochodził z 3-letniego (2001–2004) doświadczenia polowego zlokalizowanego w ZDD Przybroda (szer. geogr. 16°39', dł. geogr. 52°31') należącego do Katedry Uprawy Roli i Roślin Akademii Rolniczej w Poznaniu. Doświadczenie założono na glebach czarnych właściwych (*Cambisols Eutric* wg WRB, Toruń 2003) o składzie granulometrycznym w warstwie ornej gliny lekkiej. Gleby te zaliczane są do kompleksu przydatności rolniczej zbożowo-pastewnego mocnego i klasy bonitacyjnej IIIa. Podstawowe właściwości chemiczne gleby prezentuje tabela 1.

Doświadczenie przeprowadzono w układzie split-split-plot. Czynnikiem pierwszego rzędu było nawożenie azotem, które obejmowało cztery poziomy w następujących dawkach: 0, 60, 120 i 180 kg N·ha⁻¹. Czynnikiem drugim było nawożenie siarką w dawkach: 0, 20, 40, 60 i 80 kg S·ha⁻¹. Czynnikiem trzecim stanowiły odmiany: Kana i Lirajet. W związku z brakiem istotnych różnic między odmianami dane zaprezentowane w niniejszej pracy są uśrednione. Źródłem azotu był mocznik, a siarki gips. Oba nawozy stosowano w okresie wiosennym. Nawożenie

NPK było zbilansowane i kształtowało się na poziomie 93 kg P₂O₅ i 122 kg K₂O na hektar w formie superfosfatu potrójnego oraz soli potasowej 60%. Jesienne nawożenie azotem wykonywano mocznikiem w dawce 35 kg N·ha⁻¹.

Tabela 1

Wybrane właściwości chemiczne gleby w poziomie próchnicznym (średnia z 3 lat badań)
Some chemical properties of soil humus layer (mean for experimental years)

Wyszczególnienie <i>Specification</i>	Zawartość <i>Content</i>	Wyszczególnienie <i>Specification</i>	Zawartość <i>Content</i>
pH KCl	6,2	K ₂ O [mg·kg ⁻¹]	185,3
N _{og} [g·kg ⁻¹]	1,26	Mg [mg·kg ⁻¹]	62,7
C _{org} [g·kg ⁻¹]	10,95	S _{og} [g·kg ⁻¹]	0,21
P ₂ O ₅ [mg·kg ⁻¹]	169,0	S-SO ₄ [mg·kg ⁻¹]	16,1

Próbki roślin pobierano w fazie pąkowania (I termin) oraz kwitnienia (II termin), co według klucza BBCH (Adameczewski i Matysiak 2002) odpowiadało fazom rozwoju rzepaku ozimego 55–57 oraz 65. Próbki roślin stanowiły liście w liczbie 20–30 sztuk z każdego obiektu. W tym przypadku przyjęto zasadę pobierania po 1–2 najmłodsze, ale dobrze wykształcone liście z rośliny. Zebrany materiał wysuszono w temperaturze 50°C, a następnie zmielono. W tak przygotowanych próbkach roślinnych oznaczano: siarkę ogólną (S_{og}) — według procedury badawczej ChR PB.24 z 31.03.2000, siarkę siarczanową (S-SO₄) — metodą turbidimetryczną Bardsley i Lancaster (1960), azot ogólny — metodą destylacyjną Kiejdahla po uprzedniej mineralizacji ze stężonym H₂SO₄.

W oparciu o zawartość azotu i siarki w roślinie obliczono wzajemny stosunek ilościowy tych dwóch składników (N : S).

Równoległe z liśćmi pobierano próbki gleby. Materiał glebowy do analiz stanowił próbkę średnią składającą się z 8–10 indywidualnych próbek z każdego powtórzenia. Próbki gleby pobierano łaską glebową z warstwy ornej (0–30 cm). Zgromadzone próbki zostały wysuszone w temperaturze pokojowej i przesiane przez sito o średnicy oczek 2 mm. W tak przygotowanym materiale glebowym wykonano analizy na zawartość siarki siarczanowej, siarki przyswajalnej oraz siarki ogólnej. Dla określenia siarki siarczanowej (S-SO₄) wykorzystano metodę opracowaną przez Bardsley'a i Lancaster'a (1960), a siarkę ogólną (S_{og}) oznaczono według procedury badawczej SChR PB.58 z 11.02.2002. Natomiast dla określenia ilości siarki przyswajalnej ekstrahowano ją roztworem 0,25 mol·dm⁻³ KCl na gorąco w temperaturze 40°C przez okres 3 godzin, tak jak to zaproponował Blair i in. (1991). W celu oznaczenia tej formy siarki turbidimetrycznie z BaCl₂ wykorzystano modyfikację polegającą na utlenieniu organicznych form siarki w uzyskanych ekstraktach za pomocą 30% H₂O₂ w temperaturze 80°C (Lisle i in. 1994).

Dane zaprezentowane w pracy są średnimi z 3 lat badań. Uzyskane wyniki oceniono formalnie w analizach wariancji z uwzględnieniem efektów krzywo-

liniowych badanych czynników i liniowego składnika interakcyjnego. Średnie obiektowe porównano metodą Tukeya, a regresję wielokrotną wykonano metodą krokową postępującą, w obu przypadkach stosując poziom istotności $\alpha = 0,05$.

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 dwóch 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 — *Weather conditions in Przybroda*

Miesiąc <i>Month</i>	Średnia temperatura [°C] <i>Mean temperature</i>				Opady [mm] <i>Rainfall</i>			
	2001/02	2002/03	2003/04	1984–2003	2001/02	2002/03	2003/04	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

Wyniki i dyskusja

W dobie zmniejszonej emisji związków siarki do atmosfery coraz większą rolę w uzupełnianiu tego składnika odrywają nawozy mineralne. Jednak jak uważa Blake-Kalff i in. (2003) oraz Zhao i in. (2003), nawożenie mineralne siarką nie może stać się rutynowym zabiegiem agrotechnicznym, lecz musi być poprzedzone testami diagnostycznymi potwierdzającymi konieczność jego wykonania. Taka rozważa w stosowaniu siarki wynika z faktu, iż składnik ten w nadmiernych

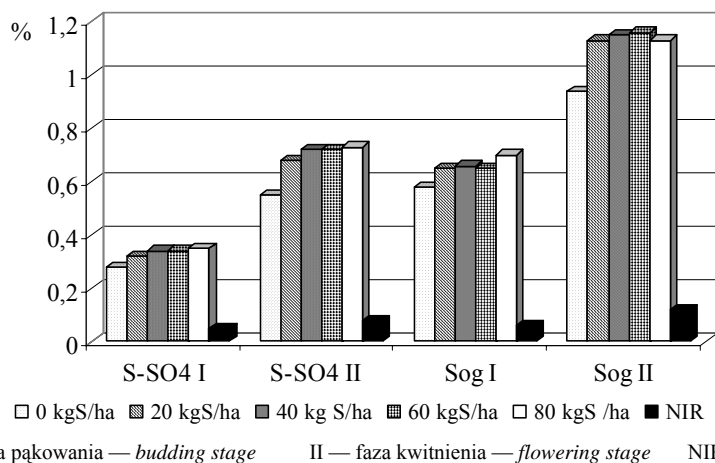
ilościach może działać antagonistycznie w stosunku do innych (Cu, Mo, Se) bądź będąc niewykorzystany przez rośliny jest wymywany do wód gruntowych lub powoduje zmiany właściwości chemicznych i fizykochemicznych gleby. Ten aspekt dowodzi jak istotna jest wysokość dawki nawozu siarkowego, która ma jedynie pokryć potrzeby pokarmowe roślin, tak aby doprowadzić do uzyskania wysokiego ich plonu i jakości.

Analizując doniesienia literaturowe można wywnioskować, iż wśród autorów brak jest zgodności co do lepszej przydatności diagnostycznej któregośkolwiek ze stosowanych powszechnie testów tak glebowych jak roślinnych, choć jak twierdzą Blake-Kalff i in. (2003) czy Walker i Dawson (2003) zdecydowaną wiarygodnością odznaczają się te ostatnie.

W badaniach własnych wykorzystano powszechnie stosowane w praktyce testy roślinne oparte o zawartość siarki ogólnej i siarczanowej oraz wartość N : S.

Pomimo, iż przydatność diagnostyczna zawartości siarki ogólnej w roślinach budzi wiele kontrowersji, większość badaczy zajmujących się tą problematyką opiera się o określone graniczne wartości tego wskaźnika (McGrath i in. 1996, Zhao i in. 1997, Blake-Kalff i in. 2003). Schnug i Haneklaus (1994) twierdzą, że do osiągnięcia maksymalnego plonu rzepaku wymagana jest zawartość 0,65% siarki ogólnej w młodych liściach w fazie wydłużania pędu.

Dane zamieszczone na rysunku 1 wskazują, że niezależnie od zastosowanej dawki gipsu liście roślin charakteryzowały się zbliżoną bądź nieco wyższą zawartością siarki ogólnej w stosunku do wartości przytaczanej powyżej. Warty podkreślenia jest fakt, iż dawki gipsu powyżej 20 kg S·ha⁻¹ nie spowodowały zasadniczych różnic w koncentracji S_{og} w liściach roślin z poszczególnych obiektów



Rys. 1. Wpływ wzrastających dawek siarki na zawartość siarki siarczanowej oraz ogólnej w liściach roślin w zależności od fazy rozwojowej — *Influence of increasing sulphur doses on content of sulphur sulphate and total sulphur in plant leaves depending on growth stage*

doświadczenia zarówno w fazie pąkowania (od 0,65 do 0,70%), jak i kwitnienia (od 1,13 do 1,16%) (rys. 1). Niezależnie od terminu pobrania próbek rzepaku, wartości siarki ogólnej w roślinach nawożonych najwyższą z zastosowanych w doświadczeniu dawek nawozu były wyższe o 1/5 w porównaniu z tymi określonymi w roślinach z obiektu kontrolnego. Również Boreczek (2001) w badaniach wykazała zwiększenie zawartości S_{og} w liściach rzepaku pod wpływem nawożenia siarką.

Nieznaczne oddziaływanie dawek gipsu powyżej 20 kg S·ha⁻¹ na zmiany w ilości S_{og} potwierdzają uśrednione dla terminów zbioru wartości omawianego wskaźnika, które niezależnie od nawożenia azotem wraz ze wzrostem dawki siarki rosły w następującym szeregu: 0,76 < 0,89 < 0,91 < 0,90 < 0,92%.

Wzrastająca ilość gipsu nie wywołała wyraźnych różnic także w zawartości siarki siarczanowej w liściach roślin. Świadczą o tym średnie wartości z obu terminów, które wraz z rosnącymi dawkami gipsu zwiększały się w niewielkim stopniu zgodnie z szeregiem: 0,42 < 0,50 < 0,53 < 0,53 < 0,54%. W warunkach nawożenia dawką 20 kg S·ha⁻¹ i większych zawartość siarki siarczanowej w liściach rzepaku pobranych w fazie pąkowania wahała się od 0,32 do 0,35%, a w okresie jego kwitnienia od 0,68 do 0,73% (rys. 1). Wyrazem oddziaływania najwyższej z zastosowanych w doświadczeniu dawek gipsu był wzrost zawartości siarki siarczanowej w roślinach o 25,0 oraz o 32,7% w stosunku do określonej na obiekcie kontrolnym odpowiednio w I i II terminie zbioru.

Koncentracja siarki w liściach rzepaku była w okresie kwitnienia większa niż podczas pąkowania. Niezależnie od obiektu doświadczenia rośliny pobrane w II terminie zbioru wykazały 2-krotnie wyższą ilość S-SO₄ oraz 1,5-razy wyższą zawartość S_{og} w porównaniu z wartościami określonymi w roślinach zebranych w I terminie (rys. 1).

Za wysoce wiarygodne narzędzie do oceny zaopatrzenia roślin w siarkę Blake-Kalff i in. (2003) oraz Grant i in. (2003) uważają wartość stosunku N : S, pomimo jego zmienności wraz z wiekiem rośliny i podatności na wpływ nawożenia azotem czy siarką. Z kolei Zhao i in. (1997) wykazują, iż zależy on między innymi od stanu odżywienia rośliny siarką, jak i odmiany rzepaku jedno- lub dwuzerowej. Ponadto, ich zdaniem, wadą omawianego indeksu jest to, że taki sam stosunek N : S może odpowiadać różnym poziomom siarki i różnym poziomom azotu w roślinie. 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 wartość stosunku N : S została obliczona dla roślin będących w okresie kwitnienia. Omawiany współczynnik diagnostyczny przyjmował następujące wartości liczbowe 6 : 1 przy 0 kg S·ha⁻¹, 5,75 : 1 przy 20 kg S·ha⁻¹ oraz 5,5 : 1 dla dawek 40, 60 i 80 kg S·ha⁻¹. Opierając się na tych danych można

wnioskować, że rośliny były dobrze odżywione siarką, a zwiększające się dawki gipsu jedynie zawężyły wartości N : S w liściach działając prawdopodobnie niekorzystnie na skład chemiczny białek. W oparciu o doświadczenia polowe z rzepakiem Zhao i in. (1997), Jackson (2000) oraz Boreczek (2001) wykazali także tendencje do obniżania się wartości N : S w roślinach w miarę wzrostu dawek siarki.

Wpływ nawożenia wzrastającymi dawkami gipsu został bardziej jednoznacznie zaznaczony w zmianach ilościowych składnika w glebie. Spośród licznie wykorzystywanych testów glebowych najszerze znaczenie w prognozowaniu zasobności gleb w siarkę mają te, które opisują frakcje przyswajalne i dostępne pierwiastka, czyli stanowiące potencjalne źródło składnika dla rośliny. Frakcja dostępna powszechnie utożsamiana jest z siarką siarczanową, jednak jej ilość w glebie w okresie wegetacji ulega wahaniom w wyniku licznych procesów, począwszy od mineralizacji przez immobilizację, sorpcję aż po wymycie. W porównaniu z siarką ogólną, dostępna ilość składnika jest bardzo zmienna i uzależniona od czynników środowiska oraz agrotechniki (Schnug i Haneklaus 1998).

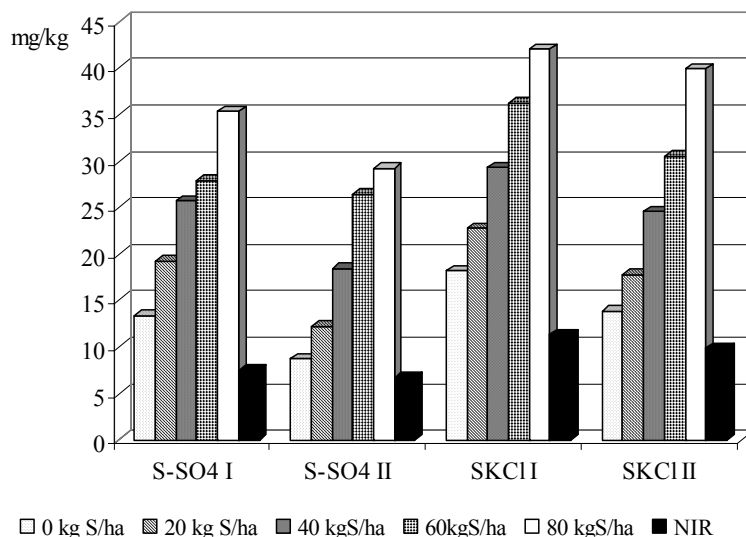
Uśredniona dla terminów zbioru próbek ilość S-SO₄ w glebie, niezależnie od nawożenia azotem rosła wraz ze wzrostem zastosowanej dawki gipsu w następującym szeregu: 11,03 < 15,71 < 22,05 < 27,14 < 32,26 mg·kg⁻¹. Jak wskazują dane zawarte na rysunku 2 zawartość siarki dostępnej była 1,5-krotnie większa w próbkach glebowych pobranych w I terminie w porównaniu z wartościami określonymi w próbkach z II terminu. Pomimo tego, ilość S-SO₄ wykazana dla gleb nawożonych 80 kg S·ha⁻¹ była 2,5 razy większa w okresie pąkowania oraz 3,5-krotnie większa w fazie kwitnienia w stosunku do próbek obiektu kontrolnego.

Podobny kierunek zmian, do zaprezentowanego dla siarki siarczanowej w glebach, odnotowano również w przypadku zawartości siarki przyswajalnej — ekstrahowanej roztworem 0,25 mol·dm⁻³ KCl. Z frakcją tą identyfikowane są siarczany obecne w roztworze glebowym, zaadsorbowane oraz powstające ze zmineralizowanej labilnej frakcji siarki organicznej. Niezależnie od badanego obiektu oraz terminu pobrania próbek glebowych ilość siarki przyswajalnej była zasadniczo wyższa w porównaniu do określonej dla siarki dostępnej, co najwyraźniej zostało wyrażone w warunkach kontroli (o 45%). Zastosowane w doświadczeniu dawki gipsu zmniejszyły te różnice, bowiem zawartość siarki przyswajalnej w próbkach glebowych z obiektów nawożonych siarką od 20 do 80 kg·ha⁻¹ była wyższa jedynie o 22–29% w stosunku do zawartości S-SO₄.

Wykazane różnice ilościowe wynikające z zastosowania różnych metod diagnostycznych wskazują na efektywniejszą ekstrakcję siarki glebowej na gorąco roztworem KCl. O tego typu zależności mówią także wyniki badań Jakubus (2004).

Zwiększającym się dawkom siarki konsekwentnie towarzyszyła podwyższona ilość siarki przyswajalnej, która w uśrednieniu dla obu terminów pobrania, niezależnie od nawożenia azotem, wzrastała jak następuje: 16,0 < 20,28 < 26,92 < 33,34 < 40,94 mg·kg⁻¹. Jednocześnie nadmienić należy, iż termin pobrania próbek

glebowych nie wpłynął na znaczące różnice ilościowe tej formy składnika w glebie (rys. 2). Analizując oddziaływanie najwyższej dawki gipsu na zmiany w zawartości S-KCl w odniesieniu do ilości stwierdzonej w próbkach glebowych obiektu kontrolnego należy podkreślić, że wyraźniej zaznaczyła się ona w okresie kwitnienia (3-krotnie wyższa) niż pąkowania (2-krotnie wyższa) (rys. 2).



I — faza pąkowania — *budding stage* II — faza kwitnienia — *flowering stage* NIR — LSD

Rys. 2. Wpływ wzrastających dawek siarki na zawartość siarki siarczanowej oraz przyswajalnej w glebach w zależności od fazy rozwojowej — *Influence of increasing sulphur doses on content of sulphur sulphate and available sulphur in soils depending on growth stage*

Faza kwitnienia jest uważana za okres najintensywniejszego przyrostu biomasy, a co za tym idzie pobrania składników, w związku z tym ilość siarki dostępnej oraz przyswajalnej dla roślin w glebie powinna być niska, wskazując na wykorzystanie składnika przez rośliny. W badaniach własnych taka zależność nie została zaobserwowana, czego przykładem jest gleba oraz roślina nawożona 80 kg siarki na hektar. W próbkach glebowych pobranych w II terminie z tego obiektu stwierdzono 3-krotnie wyższą ilość S przyswajalnej oraz 3,5-krotnie wyższą zawartość S-SO₄ w porównaniu do wartości określonych w glebie kontrolnej (0 kg S·ha⁻¹). Jednocześnie, jak już wcześniej wykazano w pracy, koncentracje S_{og} i S-SO₄ w liściach roślin nie ulegały wyraźnym zmianom będąc, niezależnie od dawki siarki, wyższe o 20–30% w stosunku do określonych w liściach roślin z obiektu kontrolnego. Związane to może być z wcześniejszym pokryciem przez rzepak zapotrzebowania na składnik, a jednocześnie dawka 80 kg S·ha⁻¹ była zbyt duża i nie została w pełni wykorzystana przez rośliny. Zjawisko to można również interpretować w oparciu o niekorzystne warunki hydrotermiczne. W latach badań w okresie wczesnej

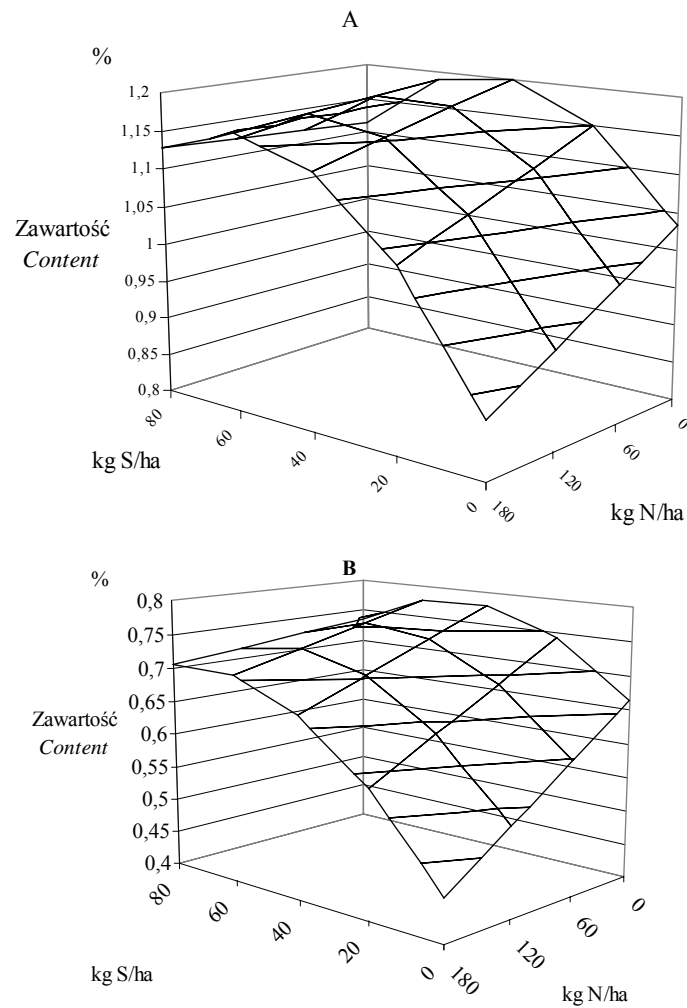
wiosny odnotowano małą ilość opadów (tab. 2), co nie było czynnikiem sprzyjającym szybkiej rozpuszczalności nawozu, jakim jest gips (Messick i in. 2003).

Szereg danych literaturowych (Fismes i in. 2000, Schnug i Haneklaus 2000, Jackson 2000) wskazuje na istotę współdziałania azotu i siarki na plon i rozwój rzepaku. Cytowani autorzy przede wszystkim podkreślają interakcyjny wpływ obu składników na optymalne zaopatrzenie roślin w siarkę, a co za tym idzie wysoką produktywność rzepaku. Ich zdaniem efektywne wykorzystanie azotu ma niebagatelne znaczenie z punktu widzenia ochrony środowiska, bowiem w warunkach niedoborów siarki następuje redukcja azotu, czego konsekwencją są jego straty.

W badaniach własnych stwierdzono współdziałanie nawożenia azotem i siarką w kształtowaniu koncentracji siarki w liściach roślin, które wystąpiło jednak dopiero podczas kwitnienia rzepaku. Jak wskazują dane zaprezentowane na rysunku 3 wraz ze zwiększającą się dawką azotu i przy jednoczesnym braku nawożenia gipsem, następowało znacznie silniejsze obniżanie się zawartości siarki ogólnej oraz siarczanowej w liściach roślin niż na obiektach nawożonych gipsem. Maksymalne wartości dyskutowanych indeksów wykazano przy dawce $40 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jednak zastosowanie tylko 20 kg siarki na hektar znacznie poprawiało wartości S_{og} i $S\text{-SO}_4$ w liściach rzepaku, przyczyniając się do ich wzrostu nawet w warunkach nawożenia wysokimi dawkami azotu.

Podobną tendencję spadku koncentracji siarki w organach roślin przy wysokich dawkach azotu odnotowali McGrath i Zhao (1996). Zdaniem autorów następuje wówczas efekt rozcieńczenia siarki, czego konsekwencją jest ograniczenie produktywności.

Jak już wcześniej wspomniano, siarka jest tym składnikiem, w przypadku którego dawka nawozowa powinna być ustalana w sposób przemyślany, a podjęcie decyzji o nawożeniu związkami siarki nie może być rozpatrywane w oderwaniu od warunków glebowo-klimatycznych panujących na konkretnym obszarze (polu), jak i systemu produkcji. Pomocne w takich wyborach są proste zasady mówiące o dawkach $30\text{--}40 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ w przypadku rzepaku ozimego (przy ruszeniu wegetacji). Zalecenia dla poszczególnych upraw polowych są zbieżne z proponowanymi w innych krajach (Walker i Dawson 2003). Ponadto Zhao i in. (2003) uważają, iż ze względu na ryzyko wymycia siarczanów, nawożenie siarką w optymalnym schemacie powinno odbywać się tylko wówczas, gdy rośliny tego potrzebują, łącznie z nawożeniem azotowym. Autorzy sugerują, że siarka powinna być zastosowana wiosną możliwie najwcześniej w postaci gipsu w dawce co najwyżej $40 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast Jackson (2000) uważa, że przy zawartości S przyswajalnej w warstwie ornej gleby w wysokości $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ optymalna dawka tego składnika przy nawożeniu rzepaku nie powinna przekroczyć $20 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Rys. 3. Zawartość siarki ogólnej (A) oraz siarczanowej (B) w liściach rzepaku podczas kwitnienia w zależności od dawki siarki i azotu — *Content of total sulphur (A) and sulphate (B) in leaves of oilseed rape during flowering depending on sulphur and nitrogen doses*

Wnioski

1. Ilość siarki ogólnej oraz siarczanowej stwierdzona w liściach rzepaku zebranych w okresie kwitnienia była 1,5 do 2,0 razy wyższa w stosunku do wartości określonych w tych samych częściach roślin zebranych w fazie pąkowania.
2. Dawki gipsu powyżej 20 kg S·ha⁻¹, niezależnie od poziomu nawożenia azotem, nie różnicowały w zasadniczy sposób zawartości siarki ogólnej i siarczanowej w liściach roślin, natomiast przyczyniły się do zawężenia wartości stosunku N : S w rzepaku.
3. Współdziałanie nawożenia azotem i siarką na zmiany zawartości S-SO₄ i S_{og} w liściach roślin wykazano w fazie kwitnienia, przy czym zwiększającej się dawce azotu towarzyszyło obniżanie się ich wartości.
4. Wzrastające dawki gipsu sprzyjały podwyższeniu ilości siarki siarczanowej oraz przyswajalnej w glebie.

Literatura

- Adamczeski K., Matysiak K. 2002. Klucz do określenia faz rozwojowych roślin jedno i dwuliściennych w skali BBCH. IOR, Poznań.
- Asare E., Scarisbrick E. 1995. Rate of nitrogen and sulphur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.). field. Crops Research, 44: 41-46.
- Bardsley C.E., Lancaster J.D. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Soil Soc. Am. Proc., 24: 265-268.
- Boreczek B. 2001. Wykorzystanie testów roślinnych do oceny stanu odżywienia roślin siarką. Fragmenta Agronomica, XVIII, 4 (72): 136-146.
- Blair G., Chinoim N., Lefroy R., Andreson G., Gocker G.J. 1991. A soil sulfur test for pastures and crops. Aust. J. Soil Res., 29: 619-626.
- Blake-Kalff M.M.A., Zhao F.J., McGrath S.P. 2003. Sulphur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. Fertilizers and Fertilization, 3: 5-25.
- Fismes J., Vong P.C., Guckert A., Frossard E. 2000. Influence of sulphur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. European Journal of Agronomy, 12: 127-141.
- 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.
- Jackson G.D. 2000. Effects of nitrogen and sulfur on canola field and nutrient uptake. Agron. J., 92: 644-649.
- Jakubus M. 2004. Ocena przydatności testu KCl-40 w diagnozowaniu ilości siarki przyswajalnej dla roślin. Nawozy i Nawożenie, 1: 114-123.
- Lisle L., Lefroy R., Anderson G., Blair G. 1994. Methods for the measurement of sulphur in plants and soil. Sulphur in Agriculture, 18: 45-54.

- 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., Withers P.J.A. 1996. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. The Fertiliser Society, Proceedings, 379, 48.
- Messick D.L., de Bray C., Fan M.X. 2003. Sources of sulphur, their processing and use in fertilizer manufacture. Nawozy i Nawożenie, 2: 81-103.
- 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.
- Schnug E., Haneklaus S. 2000. Significance of interactions between sulphur and nitrogen supply for growth and quality of crop plants. In: Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants, Eds. Brunold et al., Paul Haupt, Bern, Switzerland: 345-347.
- Szukalski H., Jakubowski S., Sikora H., Szukalska-Gołąb W. 1985. Potrzeby uszlachetnionych odmian rzepaku w stosunku do składników mineralnych. Cz. II. Wapń, magnez, siarka, sód. Zeszyty Problemowe „Wyniki badań nad rzepakiem ozimym rok 1984”: 188-194.
- Troczyńska J. 2005. System mirozynaza – glukozynolany — charakterystyka i funkcje w roślinie. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXVI, 1: 51-64.
- Walker K., Dawson C. 2003. Sulphur fertiliser recommendations in Europe. Fertilizers and Fertilization, 3: 72-83.
- 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 Pozn., 303, Roln. 51: 129-147.
- World reference base for soil resources. 2003. Polish Soil Science Society, Toruń: 1-106.
- Zhao F.J., Bilsborrow P.E., Evans E.J., McGrath S.P. 1997. Nitrogen to sulphur ratio in rapeseed and in rapeseed protein and its use in diagnosing sulphur deficiency. Journal of Plant Nutrition, 20 (4, 5): 549-558.
- Zhao F.J., McGrath S.P., Blake-Kalff M.A., Link A., Tucker M. 2003. Crop response to sulphur fertilization in Europe. Nawozy i Nawożenie, 3: 26-51.