Anna Podleśna
Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia

Wpływ nawożenia siarką na zawartość i pobieranie składników pokarmowych przez rzepak ozimy

The effect of sulfur fertilization on concentration and uptake of nutrients by winter oilseed rape

Słowa kluczowe: doświadczenie polowe, faza generatywna, plon, makroelementy, dynamika pobierania składników, przemieszczanie

Od kilku lat zaleca się w Polsce stosowanie nawozów siarkowych w uprawie rzepaku, nie jest jednak dokładnie znane oddziaływanie siarki na pobieranie innych składników pokarmowych. Wiadomo, że nawożenie siarką optymalizuje stosunki pomiędzy jonami w roślinach. Prowadzone badania miały na celu określenie wpływu siarki nawozowej na przyrost masy rzepaku oraz koncentrację i dynamikę gromadzenia makroelementów w okresie od kwitnienia do dojrzałości pełnej. Stwierdzono, że nawożenie siarką spowodowało wprawdzie niewielki przyrost plonu nasion ale wpłynęło na wzrost zawartości N, S, Ca i Mg, podczas gdy koncentracja fosforu i potasu nie różniła się między obiektami. W efekcie w roślinach dojrzałych zebranych z obiektu nawożonego siarką stwierdzono wyższą akumulację większości badanych składników.

Key words: field experiment, generative stage, yield, macronutrients, dynamics of nutrients uptake, remobilization

Fertilizer recommendations published in Poland have been completed in recent years with sulfur fertilization particularly in relation to oilseed rape and other plants which have high requirements on this nutrient. In relevant literature there are few papers dedicated to the influence of sulphate sulfur present in fertilizers, on formation of concentration and uptake of the other nutrients. It was shown, however, that fertilizer sulfur can optymalize the ion balance in plants. Through these actions sulfur can indirectly effect the intensity and size of remaining nutrient uptake. From the agricultural point of view it is an important problem because it has repercussions not only at growth and yielding of plants but also at quality of agricultural products. The recognition of fertilizer sulfur effect on increase of rapeseed plant mass and on concentration and dynamics of uptake of the main nutrients from flowering until full maturity of seeds was the aim of conducted researches. It was found that applied sulfur had little effect on rape seed yield increase during the 3 years of studies. However, under the influence of sulfur fertilization the increase of N, S, Ca and Mg concentration in seeds and vegetative parts of rape was found. The P and K content in plants fertilized with S decreased at flowering while it did not differ significantly in plant material from both objects collected at later phases. Matured plants from an object with sulfur showed greater accumulation of nitrogen, sulfur, potassium, calcium and magnesium. In the period of seeds filling the remobilization of N and S and to a lesser degree S and Mg from vegetative to generative organs was found. Applied sulfur fertilization influenced little increase of seed and vegetative organs yield of oilseed rape.

Plants fertilized with sulfur showed higher concentration of nitrogen, sulfur, calcium and potassium and lower content of phosphorus and the same content of magnesium, similar to control plants.

The oilseed rape which origined from sulfur fertilized objects was characterized by greater uptake of most of studied nutrients whereas phosphorus uptake was independent of this treatment.

Sulfur fertilization caused more efficient nutrients uptake and their greater utilization in production of seeds and vegetative organs.

Wstęp

W związku z postępującą redukcją zanieczyszczeń atmosfery przez gazowe związki siarki dopływ tego składnika do gleb w Polsce systematycznie maleje. W tej sytuacji zachodzi obawa rozszerzenia się rejonów z niedoborem siarki, co może odbić się na wielkości i jakości plonów wielu roślin rolniczych (Losak i in. 2000, Podleśna 2003, Podleśna i in. 2003). Szczególnie wysokie zapotrzebowanie na siarkę wykazuje rzepak ozimy, dlatego obecnie zaleca się stosowanie nawozów siarkowych na plantacjach tej rośliny. W dostępnej literaturze nie ma jednak prac poświęconych oddziaływaniu siarki siarczanowej obecnej w nawozach na kształtowanie się koncentracji i pobrania pozostałych składników pokarmowych. Tylko nieliczne z nich dotyczą zależności pomiędzy azotem i siarką (McGrath i Zhao 1996). Tymczasem zastosowany składnik nawozowy może spowodować zachwianie równowagi w ryzosferze i mieć przez to silny wpływ na pobieranie innych składników żywieniowych. Zjawisko takie stwierdzono w przypadku nawożenia azotem kukurydzy (Amoruwa i in. 1987), kiedy to wystąpiły zakłócenia w pobieraniu fosforu, potasu, magnezu i wapnia. Natomiast doświadczenie wazonowe Brodowskiej i Kaczora (2003) wykazało, że nawożenie siarką powoduje zmiany w składzie anionowym roślin. Ponadto niektóre składniki zwiększają tempo przyrostu masy roślin, przez co następuje obniżenie lub wzrost koncentracji pozostałych pierwiastków i w konsekwencji zmienia się wielkość ich całkowitej akumulacji. Z rolniczego punktu widzenia jest to zagadnienie ważne, bowiem koncentracja składników mineralnych w tkankach roślin ma związek nie tylko z dynamiką rozwoju i wzrostu roślin, ale także z różną odpornością na choroby, wymarzanie czy inne warunki stresowe występujące w okresie wegetacji, i w konsekwencji z jakością wytworzonych plonów.

Celem prowadzonych badań było rozpoznanie wpływu siarki nawozowej na kształtowanie się koncentracji głównych składników pokarmowych oraz na dynamikę ich pobierania w generatywnej fazie rozwoju rzepaku ozimego.

Materiał i metody

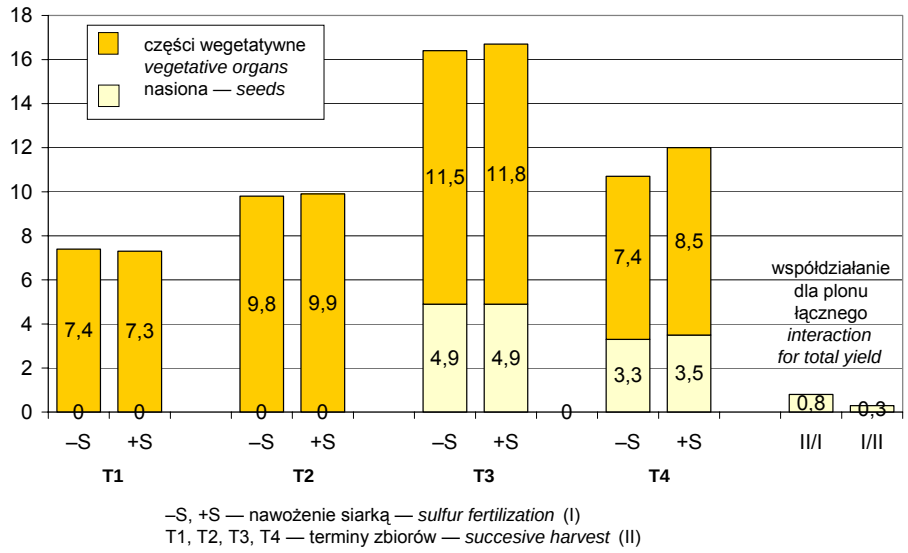
Doświadczenie polowe prowadzono w latach 1999–2001 w SD IUNG Baborówko (woj. wielkopolskie) na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego. W doświadczeniu nie stosowano obornika, a gleba charakteryzowała się niską zawartością siarki siarczanowej w zakresie głębokości 0–90 cm. Rzepak ozimy

uprawiano w dwu powtórzeniach w stanowisku po pszenicy jarej. Z całkowitej dawki azotu w wysokości 200 kg/ha jesienią zastosowano 40 kg, a resztę podano dwukrotnie wiosną, po 80 kg N/ha, w 31 i 51 stadium rozwojowym rzepaku według skali BBA. Pierwszym czynnikiem doświadczenia było zróżnicowane nawożenie siarką, tj. kontrola bez nawożenia (–S) i stosowanie siarki w ilości 80–100 kg S/ha (+S). Siarka podawana była jesienią w formie siarczanu potasu, superfosfatu prostego i siarczanu amonu. Zróżnicowana dawka siarki wynikała głównie z nawożenia fosforowo-potasowego, które ustalano corocznie na podstawie zasobności gleby w te składniki. W generatywnej fazie rozwoju rzepaku pobierano próbki roślin w celu oszacowania przyrostu suchej masy i wykonania analiz chemicznych. Zbiory roślin, traktowane jako drugi czynnik doświadczenia, wykonywano w następujących fazach: T1 — 62 BBA, T2 — 69 BBA, T3 — 87 BBA i T4 — 91 BBA. W przypadku dwu pierwszych zbiorów materiał roślinny stanowiła cała część nadziemna rzepaku, a w następnych zbiorach rośliny dzielono na nasiona i część wegetatywną. Po wysuszeniu i zważeniu próbki roślinne zmielono i oddano do Głównego Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG w celu oznaczenia zawartości N, P, K, Ca i Mg. Azot i fosfor oznaczano metodą spektrofotometrii przepływowej, potas metodą emisyjnej spektrometrii płomieniowej, a wapń i magnez — metodą spektrometrii atomowej. Siarkę ogólną oznaczano w Laboratorium Instytutu Nawozów Sztucznych w Puławach metodą fluorescencji rentgenowskiej. Wiosną, przed zastosowaniem I dawki azotu, z warstw 0–30, 30–60 i 60–90 cm pobierano próbki gleby, w których oznaczano siarkę siarczanową, stosując metodę kolorymetryczną benzydynową. Wyniki opracowano z zastosowaniem analizy wariancji przy pomocy programu Statgraphics 5.1.

Wyniki

Analizy chemiczne wykazały, że zawartość siarki siarczanowej w warstwie ornej oraz na głębokości 30–60 i 60–90 cm wynosiła w latach badań odpowiednio: 2,0–2,5, 2,0–2,5 i 1,25–2,00 mg $S–SO_4$ kg^{-1} gleby. Opierając się na granicznych zawartościach siarki przyjętych dla poszczególnych grup gleb uprawnych uznano więc, że gleba, na której prowadzono doświadczenie wykazywała niską zawartość tego składnika. Pomimo tego analiza plonu suchej masy rzepaku wskazuje, że zastosowana siarka miała niewielki wpływ na plon. Nieznaczny przyrost suchej masy roślin nawożonych siarką stwierdzono dopiero od fazy końca kwitnienia (rys. 1). Tendencja ta utrzymała się do dojrzałości pełnej rzepaku.

W efekcie rośliny nawożone siarką wytworzyły o 0,2 t/ha większy plon nasion, który stanowił 29% plonu całkowitego, podczas gdy plon nasion rzepaku z obiektu kontrolnego wynosił 31%. Ta sytuacja spowodowana była większym przyrostem masy organów wegetatywnych rzepaku po zastosowaniu nawozów zawierających siarkę.



Rys. 1. Kształtowanie się plonu suchej masy rzepaku w okresie generatywnego rozwoju
Formation of dry matter yield of oilseed rape at generative period of development

Nawożenie rzepaku ozimego siarką spowodowało zmianę koncentracji większości badanych makroskładników w analizowanych organach roślin. W przypadku siarki i azotu stwierdzono istotny wzrost zawartości tych składników zarówno w częściach wegetatywnych, jak i nasionach (tab. 1). W okresie kwitnienia w częściach wegetatywnych rzepaku nawożonego siarką stwierdzono nieco niższą koncentrację wapnia, ale w następnych zbiorach obserwowano znaczny wzrost zawartości tego składnika. Natomiast zawartość wapnia w nasionach pozostawała stała, w obu obiektach, niezależnie od nawożenia. Zastosowanie siarki spowodowało obniżenie zawartości potasu w częściach wegetatywnych rzepaku w okresie kwitnienia, ale słoma roślin dojrzałych wykazała nieznacznie wyższą koncentrację tego składnika. Wystąpiło natomiast niewielkie i nieistotne obniżenie zawartości fosforu w obiektach nawożonych siarką w stosunku do kontroli. Koncentracja magnezu nie wykazywała większych zmian w zależności od nawożenia siarką.

Zastosowane nawożenie siarką wykazało istotny wpływ na dynamikę pobierania omawianych makroelementów (tab. 2). W obiektach kontrolnych, w których nie stosowano siarki, rośliny szybciej pobierały składniki pokarmowe, ale głównie na początku lub końcu kwitnienia. Po osiągnięciu najwyższych wartości akumulacji składników obserwowano ich szybszy ubytek w fazie dojrzewania lub dojrzałości pełnej. Zarówno siarka, jak i azot wykazały szybsze tempo pobierania i większą końcową akumulację w obiektach +S w całym analizowanym okresie. Z kolei największe pobranie potasu miało miejsce w fazie końca kwitnienia i wyprzedziło przyrost suchej masy rzepaku. Jednakże w okresie dojrzewania nastąpił znaczny

spadek akumulacji potasu, w efekcie czego w roślinach dojrzałych stwierdzono poniżej 40 i 50% wartości maksymalnych, liczonych odpowiednio dla obiektów –S oraz +S.

Tabela 1

Zawartość składników pokarmowych w generatywnej fazie rozwoju rzepaku ozimego
Content of nutrients at generative stage of winter oilseed rape development

Składnik *Nutrient*	Część rośliny *Plant organ*	Termin zbioru — *Harvest date*							
		T1		T2		T3		T4	
		–S	+S	–S	+S	–S	+S	–S	+S
S	nasiona — *seeds*	–*	–	–	–	1,05 a	1,08 a	0,84 a	0,92 b
	część wegetatywna *vegetative organs*	0,53 a **	0,64 b	0,49 a	0,68 b	0,39 a	0,44 a	0,32 a	0,42 b
N	nasiona — *seeds*	–	–	–	–	3,32 a	3,56 b	3,26 a	3,48 b
	część wegetatywna *vegetative organs*	2,88 a	3,07 a	2,02 a	2,32 b	0,54 a	0,56 a	0,39 a	0,49 b
P	nasiona — *seeds*	–	–	–	–	0,62 a	0,66 a	0,75 a	0,74 a
	część wegetatywna *vegetative organs*	0,53 a	0,49 a	0,45 a	0,40 a	0,07 a	0,07 a	0,09 a	0,07 a
K	nasiona — *seeds*	–	–	–	–	0,68 a	0,97 b	0,77 a	0,78 a
	część wegetatywna *vegetative organs*	3,31 a	3,17 b	2,98 a	2,84 b	1,48 a	1,46 a	1,21 a	1,26 a
Ca	nasiona — *seeds*	–	–	–	–	0,43 a	0,43 a	0,48 a	0,48 a
	część wegetatywna *vegetative organs*	1,55 a	1,45 a	1,32 a	1,47 b	1,72 a	1,88 b	1,22 a	1,35 b
Mg	nasiona — *seeds*	–	–	–	–	0,28 a	0,31 a	0,32 a	0,33 a
	część wegetatywna *vegetative organs*	0,25 a	0,25 a	0,23 a	0,24 a	0,16 a	0,15 a	0,11 a	0,11 a

* w zbiorze T1 i T2 analizowano całą część nadziemną
at 1 and 2 harvest whole above ground part of plant was analyzed

** liczby w wierszach należące do tego samego zbioru oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie — *numbers in lines belong to the same harvests and marked with the same letters did not differ significantly*

W analizowanym okresie rozwoju rzepaku nawożenie siarką spowodowało istotny wzrost pobrania azotu, siarki, potasu, wapnia i magnezu. Pobieranie fosforu było niższe w tych obiektach, a następnie utrzymało się na tym samym poziomie bez względu na siarkę. Chociaż w okresie kwitnienia rzepak z obiektów +S pobierał mniejsze ilości potasu i wapnia to dalszy rozwój roślin, prowadzący do wzrostu suchej masy i koncentracji tych składników, wpłynął na ostateczne zwiększenie ich akumulacji. Zbliżone ilości siarki i magnezu zakumulowane były w słomie i nasionach roślin dojrzałych. Natomiast większość azotu i fosforu gromadziła się w nasionach, a głównym miejscem akumulacji potasu i wapnia była słoma.

Tabela 2

Pobieranie składników pokarmowych przez rzepak ozimy [kg/ha]
Nutrient uptake by winter oilseed rape

Składnik *Nutrient*	Część rośliny *Plant organ*	Termin zbioru — *Harvest date*							
		T1		T2		T3		T4	
		–S	+S	–S	+S	–S	+S	–S	+S
S	nasiona — *seeds*					51,2 a	53,4 a	28,5 a	31,8 b
	część wegetatywna *vegetative organs*					44,7 a	51,8 b	23,6 a	35,0 b
	razem — *total*	39,2 a	46,7 b	48,2 a	67,5 b	95,9 a	104,2 b	52,1 a	66,8 b
N	nasiona — *seeds*					162,2 a	175,9 b	109,2 a	120,4 b
	część wegetatywna *vegetative organs*					61,8 a	66,0 a	28,8 a	41,8 b
	razem — *total*	213,1 a	224,1 b	204,5 a	230,1 b	223,0 a	241,9 b	138,0 a	162,3 b
P	nasiona — *seeds*					30,3	32,6	25,1 a	25,6 a
	część wegetatywna *vegetative organs*					8,0 a	8,2 a	6,7 a	6,0 a
	razem — *total*	39,2 a	35,8 b	44,2 a	39,7 b	38,3 a	40,8 b	31,8 a	31,6 a
K	nasiona — *seeds*					33,2 a	47,2 b	25,8 a	27,0 a
	część wegetatywna *vegetative organs*					169,5 a	171,9 a	89,7 a	107,5 b
	razem — *total*	244,9 a	231,4 b	292,9 a	281,7 b	202,7a	219,1 b	105,5 a	134,5 b
Ca	nasiona — *seeds*					20,9 a	21,2 a	16,3 a	16,6 a
	część wegetatywna *vegetative organs*					196,9 a	221,4 b	90,2 a	115,2 b
	razem — *total*	114,7 a	105,9 b	129,9 a	145,8 b	217,8 a	142,6 b	106,5 a	131,8 b
Mg	nasiona — *seeds*					13,7	15,3	10,7 a	11,4 a
	część wegetatywna *vegetative organs*					18,3 a	17,7 a	8,1 a	9,4 b
	razem — *total*	18,5 a	18,3 a	22,6 a	23,8 a	32,0 a	33,0 a	18,8 a	20,8 b

* objaśnienia pod tabelą 1 — *explanations under Table 1*

Dyskusja

W trzyletnim doświadczeniu polowym stwierdzono małą reakcję rzepaku na nawożenie siarką. Ze względu na to, że rzepak uprawiany był na glebie o niskiej zawartości siarki siarczanowej (Motowicka-Terelak i in. 1993), spodziewano się wzrostu plonu po zastosowaniu nawożenia, zwłaszcza że wcześniejsze prace autorki wskazywały na korzystne oddziaływanie plonotwórcze siarki zarówno w doświadczeniach wazonowych, jak i polowych (Podleśna 2002, Podleśna 2003).

Również McGrath i Zhao (1996) uzyskali przyrost plonu nasion rzepaku w przedziale 0,7–1,6 t/ha po podaniu 40 kg S/ha. Przedstawione wyniki świadczą jednak, że wykorzystanie siarki nawozowej przez rośliny uprawne jest procesem złożonym, zależnym od wielu czynników. Niewykluczone, że dużą rolę odegrały tu warunki pogodowe panujące w okresie zimy i wczesnej wiosny. Dane meteorologiczne uzyskane z SD Baborówko wskazują, że omawiane lata badań charakteryzowały się tam ciepłą zimą z dużą ilością opadów. Zdaniem Wielebskiego (2000) taka sytuacja sprzyja wymywaniu siarczanów dostarczonych do gleby jesienią. Ponieważ jony SO_4^{2-} są bardzo ruchliwe, więc zatrzymywanie ich w wierzchnich warstwach gleby jest w tych warunkach bardzo małe. W konsekwencji dawka siarki zastosowana w nawozach ulega znacznemu zmniejszeniu i na wiosnę, gdy zapotrzebowanie rzepaku na siarkę jest największe, rośliny mają do dyspozycji mniejszą pulę tego składnika. Jednakże istotnie wyższa koncentracja siarki w roślinach rzepaku z obiektów +S, w porównaniu z kontrolą, świadczy o większej ilości siarki dostępnej w ich strefie korzeniowej. Większą zawartość siarki w rzepaku pod wpływem nawożenia tym składnikiem stwierdzili także McGrath i Zhao (1996), Losak i in. (2000) i Podleśna (2003). Jednocześnie rośliny z obiektów nie nawożonych siarką nie wykazywały zaniżonej koncentracji tego składnika. Wyjaśnieniem tej sytuacji mogą być badania Vonga i in. (2002). Stwierdzili oni, że rzepak ma wyjątkowe zdolności do pobierania siarki dzięki wydzielinom korzeniowym, które stymulują zarówno zasiedlanie ryzosfery przez specyficzne mikroorganizmy, jak i aktywność enzymu arylsulfatazy, przez co wpływają na sprawniejszą mineralizację siarki organicznej. Również Eriksen i in. (2001) uważają, że organiczna siarka jest źródłem siarki dla roślin jęczmienia deficytowych w ten składnik. Prawdopodobnie ta właściwość rzepaku umożliwiła roślinom z obiektu nie nawożonego siarką pobrać około 50 kg S/ha.

Nawożenie siarką zwiększało koncentrację azotu i wapnia w rzepaku oraz w mniejszym stopniu potasu i magnezu. Natomiast zawartość fosforu zmniejszała się lub pozostawała niezależna od zastosowanej siarki, podobnie jak nie zależała od nawożenia azotem w doświadczeniu Kullmanna i in. (1989). Z kolei w badaniach Losaka i in. (2000) wykazano, że nawożenie siarką nie miało wpływu na koncentrację azotu, fosforu oraz potasu, ale istotnie zwiększało zawartość siarki i wapnia. Również McGrath i Zhao (1996) nie stwierdzili w trzyletnim doświadczeniu istotnego wpływu siarki na koncentrację azotu w łodygach rzepaku. Natomiast w doświadczeniu autorki pod wpływem nawożenia siarką stwierdzono wzrost koncentracji składników przy jednoczesnym przyroście suchej masy rzepaku, co spowodowało istotne zwiększenie akumulacji składników w stosunku do roślin z obiektów kontrolnych. Generalnie należy stwierdzić, że zastosowana siarka nie zmieniła rozlokowania poszczególnych składników, a jedynie zwiększyła ich ilość zgromadzoną w roślinach dojrzałych. Ponad 70% azotu pobranego przez rzepak dojrzały stwierdzono w nasionach, co potwierdza wcześniejsze doniesienia o inten-

sywnej redystrybucji tego składnika z organów wegetatywnych do generatywnych (Zhang i in. 1991, McGrath i Zhao 1996, Eriksen i in. 2001). Ponad 80% pobranego fosforu i około 50% siarki także ulegało akumulacji w nasionach. Natomiast ponad 80% potasu i wapnia pozostawało w słomie rzepaku, co wynika z ich koncentracji w tych organach i funkcji fizjologicznych. Podobne obserwacje poczynili Kullmann i in. (1989) w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotowego.

Największe pobranie większości badanych składników przypadało na początek fazy dojrzewania nasion. Podobne wyniki dotyczące siarki uzyskali McGrath i Zhao (1996). Najszybciej pobierany jest potas, który wyprzedza w tym względzie akumulację pozostałych składników. Natomiast w roślinach dojrzałych pozostaje około 40% maksymalnej ilości potasu pobranego w końcu kwitnienia rzepaku. Jest to prawdopodobnie spowodowane dużym udziałem liści we wcześniejszych fazach rozwojowych rzepaku, które charakteryzują się najwyższą, spośród organów tej rośliny, koncentracją K wynoszącą 2,72–9,04% (Kullmann i in. 1989). Przedstawiona sytuacja odnosi się także do azotu, magnezu oraz wapnia (1,9–9,59% Ca w liściach). Zatem w opadających pod koniec wegetacji liściach pozostaje jeszcze dużo składników pokarmowych, co powoduje, że końcowa akumulacja tych składników jest niekiedy znacznie mniejsza od maksymalnego pobrania stwierdzonego we wcześniejszych fazach. Obserwowane w tym okresie ubytki składników mineralnych z roślin uprawnych były obserwowane również w przypadku zbóż (Mugwira i Bishnoi 1980, Giza-Podleśna 1993).

Na uwagę zasługuje wzrost koncentracji wapnia w słomie rzepaku nawożonego siarką, ponieważ zjawisko to może być związane ze stwierdzoną, na tych obiektach, większą odpornością rzepaku względem niektórych chorób grzybowych (Jędryczka i in. 2002, Sadowski i in. 2002). Wyższa koncentracja wapnia w ścianach komórkowych zwiększa odporność roślin przeciwdziałając inwazji patogenów co tłumaczy się utrudnieniem maceracji ściany komórkowej przez enzymy wydzielane przez organizmy chorobotwórcze (Lityński i Jurkowska 1982). Niewykluczone, że wpływ siarki nawozowej na wzrost tzw. naturalnej odporności rzepaku na czynniki stresowe, w tym na choroby grzybowe, może wynikać nie tylko ze zwiększonej produkcji związków siarkowych typu glukozynolany czy glutation, ale może być także efektem zmian morfologicznych w ścianie komórkowej liści i łodyg. Zagadnienie to wymaga jednak dalszych badań.

Wnioski

- Zastosowane nawożenie siarką wpłynęło na niewielki wzrost plonu nasion i organów wegetatywnych rzepaku ozimego.
- Rośliny nawożone siarką wykazały wyższą koncentrację azotu, siarki, wapnia i potasu, a niższą zawartość fosforu oraz taką samą, jak w roślinach kontrolnych, zawartość magnezu.
- Rzepak pochodzący z obiektów nawożonych siarką charakteryzował się większym pobraniem większości badanych składników, natomiast akumulacja fosforu pozostała niezależna od wpływu tego czynnika.
- Nawożenie rzepaku siarką spowodowało sprawniejsze pobieranie składników pokarmowych oraz ich większe wykorzystanie przy produkcji nasion i organów wegetatywnych.

Literatura

Amoruwa G.M., Ogunell V.B., Ologunde O.O. 1987. Agronomic performance and nutrient concentration of maize (*Zea maize* L.) as influenced by nitrogen fertilization and plant density. J. Agron. Crop Sci., 159: 226-231.

Brodowska M.S., Kaczor A. 2003. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na skład anionowy pszenicy i rzepaku. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 4 (17): 92-103.

Giza-Podleśna A. 1993. Dynamika przyrostu masy i pobierania składników pokarmowych przez pszenżyto ozime w porównaniu z pszenicą i żytem. Praca doktorska, IUNG Puławy.

Eriksen J., Nielsen M., Mortensen J.V., Schjorring J.K. 2001. Redistribution of sulphur during generative growth of barley plants with different sulphur and nitrogen status. Plant and Soil, 230: 239-246.

Kullman A., Ogunella V.B., Geisler G. 1989. Concentrations and distribution of some mineral elements in oilseed rape (*Brassica napus* L.) plants in relation to nitrogen supply. J. Agronomy and Crop Science, 163 (4): 225-235.

Lityński T., Jurkowska H. 1982. Cz. II. Gleba jako źródło składników mineralnych dla roślin. 1.5.3. Wapń w roślinie. W: Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN, Warszawa.

Losak T., Hrivna L., Richter R. 2000. Effect of increasing doses of nitrogen and sulphur on yields, quality and chemical composition of winter rape. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 472: 481-487.

McGrath S.P., Zhao F.J. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). Journal of Agricultural Science, 126: 53-62.

Motowicka-Terelak T., Terelak H., Witek T. 1993. Liczby graniczne do wyceny zawartości siarki w glebach i roślinach. W: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy, P (53): 15-20.

Mugwira L.M., Bishnoi U.R. 1980. Triticale, wheat and rye growth rates and mineral accumulation at various growth stages. Comm. In Soil Science and Plant Analysis, 11(11): 1129-1146.

Podleśna A. 2002. Reakcja rzepaku ozimego na zróżnicowane nawożenie siarką. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 481: 335-339.

Podleśna A. 2003. Wstępna ocena potrzeb nawożenia siarką rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXIV (2): 641-650.

Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., Sowiński M. 2003. Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarką w doświadczeniu polowym. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 4 (17): 169-179.

Sadowski Cz., Baturo A., Lenc L., Trzciński J. 2002. Występowanie mączniaka rzekomego (*Peronospora parasitica*/Pers.ex Fr./Fr.) i mączniaka prawdziwego (*Erysiphe crucifererum* Opiz ex L. Junell) na rzepaku jarym odmiany Star przy zróżnicowanym nawożeniu azotem i siarką. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXIII (2): 391-408.

Wielebski F. 2000. Aktualne problemy nawożenia rzepaku w Polsce. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy. Red. W. Grzebisz, Wyd. AR Poznań: 261-276.

Vong P-Ch., Lasserre-Joulin F., Guckert A. 2002. Mobilization of labelled organic sulfur in rhizosphere of rape and barley and in non-rhizosphere soil. Journal of Plant Nutrition, 25, 10: 2191-2204.

Zhang Q.Z., Kullmnn A., Geisler G. 1991. Nitrogen transportation in oilseed rape (*Brassica napus* L.) plant during flowering and early siliqua developing. J. Agronomy and Crop Science, 167: 229-235.