

Siarka należy do makroelementów, niezbędnych do prawidłowego rozwoju roślin, a jednocześnie jest pierwiastkiem, który w nadmiarze może ograniczać plonowanie. W warunkach coraz częściej pojawiającego się deficytu siarki w agroekosystemach, zarówno Europy zachodniej, jak i Polski, istotne stało się traktowanie tego pierwiastka jako ważnego składnika pokarmowego dla roślin. Powinien on być dostarczany w ilościach zaspokajających potrzeby pokarmowe [Wielebski 2000]. Dostateczne zaopatrzenie roślin w siarkę wpływa korzystnie na ich rozwój i plonowanie [Schung, Haneklaus 1994; Lašák i in. 2000; Podleśna 2000]. Dotyczy to nie tylko roślin o wysokich wymaganiach w stosunku do tego pierwiastka, do których niewątpliwie zalicza się rzepak [Motowicka-Terelak, Terelak 2000], ale również wielu innych roślin uprawnych, także zbóż. Siarka odgrywa bowiem ważną rolę w metabolizmie roślin, wpływając na ich skład chemiczny, co z kolei bezpośrednio rzutuje na wysokość i jakość plonów.

Celem przedstawionej pracy było ustalenie zakresu wpływu nawożenia siarką i wapnowania na zmiany w zawartości siarki w jarych formach pszenicy i rzepaku, zbieranych w różnych fazach wzrostu.

METODY

Badania oparto na analizie materiału roślinnego, uzyskanego ze ściśłych doświadczeń wazonowych przeprowadzonych w latach 1999–2000. Doświadczenia założono na materiale glebowym pobranym z warstwy ornej gleby płowej o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej. Gleba przed doświadczeniem miała kwaśny odczyn, średnią zawartość przyswajalnego potasu, magnezu i siarki oraz wysoką zawartością przyswajalnego fosforu.

Eksperyment założono metodą kompletnej randomizacji według następującego schematu: S_0 – bez nawożenia siarką; S_1 – nawożenie S w postaci Na_2SO_4 lub S elementarnej w ilości $0,015 \text{ g S kg}^{-1}$ gleby pod pszenicę jarą i w ilości $0,03 \text{ g S kg}^{-1}$ gleby pod rzepak jary; S_2 – nawożenie S w postaci Na_2SO_4 lub S elementarnej w ilości $0,030 \text{ g S kg}^{-1}$ gleby pod pszenicę jarą i w ilości $0,06 \text{ g S kg}^{-1}$ gleby pod rzepak jary; Ca_0Mg_0 – bez wapnowania; Ca_1Mg_1 – wapnowanie mieszaniną $CaCO_3$ i $MgCO_3$ według $1,0 \text{ Hh}$ – $1,226 \text{ g CaO kg}^{-1}$ gleby ($1,095 \text{ g CaCO}_3 \text{ kg}^{-1}$ i $0,920 \text{ g MgCO}_3 \text{ kg}^{-1}$); Ca_2Mg_0 – wapnowanie $CaCO_3$ według $1,0 \text{ Hh}$ – $1,226 \text{ g CaO } 100\% \text{ kg}^{-1}$ gleby ($2,190 \text{ g CaCO}_3 \text{ kg}^{-1}$). Schemat obejmował trzy zmienne czynniki: dawkę siarki, formę siarki oraz dawkę i formę nawozu odkwaszającego. Dawka siarki oraz dawka i forma nawozu odkwaszającego zostały zastosowane na trzech poziomach, zaś forma siarki na dwóch. Dolomit i węgiel wapnia wniesiono jednorazowo w trakcie zakładania doświadczenia. We wszystkich obiektach doświadczalnych w każdym roku badań sto-

sowano stałe nawożenie NPK i pożywkę mikroelementową w ilościach dostosowanych do potrzeb pokarmowych roślin. W pierwszym roku badań (1999) rośliną testową była pszenica jara odmiany Ismena, zaś w drugim (2000) rzepak jary odmiany Licosmos „00”. Zbiór pszenicy przeprowadzono w fazie krzewienia, kwitnienia oraz w okresie pełnej dojrzałości. Zbiór rzepaku natomiast w fazie rozety (ośmiu liści), kwitnienia i w okresie pełnej dojrzałości.

W ramach prac laboratoryjnych dokonano oznaczeń fizykochemicznych i chemicznych właściwości gleby użytej do doświadczeń. Analizy te wykonane zostały z zastosowaniem metod powszechnie używanych w laboratoriach chemiczno-rolniczych. W materiale roślinnym uzyskanym po zbiorze pszenicy i rzepaku siarkę ogółem oznaczono nefleometrycznie metodą Butters-Chenery. Analizy w materiale glebowym i roślinnym wykonano w dwu powtórzeniach. W tabelach zamieszczono wartości średnie.

WYNIKI

Zastosowane czynniki doświadczalne wywarły wyraźny wpływ na zmiany w procentowej zawartości siarki ogółem w jarych formach pszenicy i rzepaku zbieranych w trzech fazach rozwojowych. Procentowa zawartość siarki zależała od fazy rozwojowej rośliny, organu, a także od nawożenia Na_2SO_4 , S elementarną oraz od wapnowania (tab. 1, 2). Najbardziej wyraźny wpływ na zawartość siarki ogółem w jarych formach pszenicy i rzepaku wywarło nawożenie roślin siarczanem sodu i siarką elementarną. Zawartości siarki wyraźnie zwiększały się w suchej masie roślin, które były lepiej zaopatrzone w ten składnik. Wzrost zawartości siarki w roślinach w efekcie nawożenia tym składnikiem stwierdzili także w swoich badaniach McGrath i in. [1996], Peacock i in. [1996], Zhao i in. [1996] oraz Haneklaus i in. [2000]. Wzrost zawartości siarki był znacznie wyższy w przypadku rzepaku, który jest rośliną o wysokich wymaganiach względem tego składnika i wyraźniej reaguje na jego niedobór w środowisku wzrostu [Dampney, Salmon 1990; Haneklaus, Schung 1992; Schung i in. 1993; Griffiths i in. 1995; McGrath, Zhao 1996; McGrath i in. 1996; Kaczor, Kozłowska 2000]. Stosowanie dawek siarki w postaci siarczanu sodu inicjowało bardziej wyraźne zmiany w zawartości tego pierwiastka ogółem w roślinach rzepaku, niż to miało miejsce w przypadku stosowania siarki elementarnej. Zawartości te w rzepaku nawożonym Na_2SO_4 były średnio 1,5-krotnie wyższe niż u roślin nawożonych S elementarną. Forma nawozu siarkowego nie różnicowała natomiast widocznie wzrostu zawartości siarki ogółem w pszenicy, który był średnio 1,2-krotny dla roślin ze wszystkich obiektów. Zależności te należy tłumaczyć różnym zapotrzebowaniem na siarkę roślin testowych oraz tym, że wprowadzona do gleby

siarka w postaci Na_2SO_4 była łatwo pobierana przez rzepak w formie jonu siarczanowego, podczas gdy siarka elementarna musiała ulec przemianom do form łatwo przyswajalnych, co przyczyniło się do mniejszej zawartości tego pierwiastka w roślinie o dużych w stosunku do niego wymaganiach.

Wyniki uzyskane w doświadczeniu pozwalają ponadto stwierdzić, że zawartość siarki ogółem w nasionach rzepaku zbieranych w fazie pełnej dojrzałości była średnio dwukrotnie wyższa niż w słomie tych samych roślin, podczas gdy słoma pszenicy zawierała średnio 1,4-krotnie więcej siarki niż ziarno tej rośliny. Dane te potwierdzają rezultaty badań innych autorów, wskazujące na gromadzenie większych ilości siarki w organach generatywnych rzepaku [Motowicka-Terelak i in. 1993; Boreczek 2001]. Biorąc pod uwagę procentową zawartość siarki w pszenicy jarej, badania własne stwierdzają większą jej kumulację w organach wegetatywnych rośliny, co nie potwierdza wyników uzyskanych przez Boreczek [2001], natomiast zgadza się z wartościami podawanymi przez Motowicką-Terelak i in. [1993].

Tabela 1. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki ogółem (%) w pszenicy jarej zbieranej w okresie krzewienia i kwitnienia oraz w rzepaku jarym zbieranym w fazie rozety i kwitnienia
Table 1. The influence of sulphur fertilization and liming on total sulphur content (%) in spring wheat harvested at the stages of tillering and flowering and spring rape harvested in stages of rosette and flowering

Obiekt Object	Faza Stage			
	pszenica spring wheat		rzepak spring rape	
	krzewienie tillering	kwitnienie flowering	rozeta rosette	kwitnienie flowering
S w postaci Na_2SO_4 Sulphur applied as Na_2SO_4				
$\text{S}_0\text{Ca}_0\text{Mg}_0$	0,36	0,29	0,71	0,22
$\text{S}_1\text{Ca}_0\text{Mg}_0$	0,38	0,35	1,30	0,63
$\text{S}_2\text{Ca}_0\text{Mg}_0$	0,39	0,40	1,46	0,86
$\text{S}_0\text{Ca}_1\text{Mg}_1$	0,33	0,27	0,44	0,12
$\text{S}_1\text{Ca}_1\text{Mg}_1$	0,35	0,29	0,96	0,44
$\text{S}_2\text{Ca}_1\text{Mg}_1$	0,38	0,32	1,03	0,62
$\text{S}_0\text{Ca}_2\text{Mg}_0$	0,32	0,26	0,37	0,10
$\text{S}_1\text{Ca}_2\text{Mg}_0$	0,36	0,29	0,90	0,42
$\text{S}_2\text{Ca}_2\text{Mg}_0$	0,38	0,31	0,95	0,64
S w postaci elementarnej Sulphur applied as elementary form				
$\text{S}_0\text{Ca}_0\text{Mg}_0$	0,32	0,30	0,73	0,17
$\text{S}_1\text{Ca}_0\text{Mg}_0$	0,37	0,34	0,98	0,32
$\text{S}_2\text{Ca}_0\text{Mg}_0$	0,41	0,39	1,14	0,58
$\text{S}_0\text{Ca}_1\text{Mg}_1$	0,31	0,25	0,31	0,09
$\text{S}_1\text{Ca}_1\text{Mg}_1$	0,33	0,28	0,67	0,21
$\text{S}_2\text{Ca}_1\text{Mg}_1$	0,35	0,31	0,75	0,31
$\text{S}_0\text{Ca}_2\text{Mg}_0$	0,28	0,24	0,30	0,11
$\text{S}_1\text{Ca}_2\text{Mg}_0$	0,29	0,27	0,52	0,22
$\text{S}_2\text{Ca}_2\text{Mg}_0$	0,32	0,29	0,72	0,34

Tabela 2. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki ogółem (%) w jarych formach pszenicy i rzepaku zbieranych w fazie pełnej dojrzałości
 Table 2. The influence of sulphur fertilization and liming on total sulphur content (%) in spring forms of wheat and rape harvested at full maturity stage

Obiekt Object	Roślina Plant			
	pszenica spring wheat		rzepak spring rape	
	słoma straw	ziarno grain	słoma straw	nasiona seeds
S w postaci Na ₂ SO ₄ Sulphur applied as Na ₂ SO ₄				
S ₀ Ca ₀ Mg ₀	0,24	0,19	0,10	x ¹
S ₁ Ca ₀ Mg ₀	0,29	0,20	0,21	0,63
S ₂ Ca ₀ Mg ₀	0,34	0,22	0,51	0,75
S ₀ Ca ₁ Mg ₁	0,22	0,17	0,09	0,25
S ₁ Ca ₁ Mg ₁	0,27	0,20	0,20	0,60
S ₂ Ca ₁ Mg ₁	0,33	0,21	0,49	0,73
S ₀ Ca ₂ Mg ₀	0,20	0,13	0,09	0,24
S ₁ Ca ₂ Mg ₀	0,24	0,16	0,19	0,58
S ₂ Ca ₂ Mg ₀	0,30	0,19	0,47	0,71
S w postaci elementarnej Sulphur applied as elementary form				
S ₀ Ca ₀ Mg ₀	0,23	0,18	0,10	0,27
S ₁ Ca ₀ Mg ₀	0,26	0,18	0,17	0,42
S ₂ Ca ₀ Mg ₀	0,33	0,19	0,38	0,55
S ₀ Ca ₁ Mg ₁	0,19	0,16	0,10	0,25
S ₁ Ca ₁ Mg ₁	0,27	0,20	0,16	0,43
S ₂ Ca ₁ Mg ₁	0,32	0,22	0,34	0,52
S ₀ Ca ₂ Mg ₀	0,18	0,15	0,08	0,25
S ₁ Ca ₂ Mg ₀	0,23	0,16	0,15	0,39
S ₂ Ca ₂ Mg ₀	0,28	0,17	0,32	0,50

¹x – nie oznaczano ze względu na brak materiału not determined because lack of material

Wzrost procentowej zawartości siarki w roślinach testowych wyraźnie korelował z fazami rozwojowymi, w których rośliny zbierano. Uwzględniając ten czynnik, stwierdzono, że największy wzrost zawartości siarki ogółem w rzepaku w stosunku do wartości w obiektach nienawożonych nastąpił przed i w trakcie okresu kwitnienia. Podobne, chociaż nie tak istotne zależności obserwowano w przypadku pszenicy. Wskazuje to na kwitnienie jako fazę krytyczną ze względu na zapotrzebowanie i zawartość siarki w roślinach, a zwłaszcza w rzepaku [Schung, Haneklaus 1994; Boreczek 2001].

Kolejnym analizowanym czynnikiem było wapnowanie. Kierunek zmian procentowych zawartości siarki w jarych formach pszenicy i rzepaku w efekcie zastosowania tego zabiegu był odwrotny niż w przypadku wprowadzenia nawozów siarkowych. Ustalono bowiem spadek procentowych zawartości siarki ogółem w roślinach w stosunku do wartości w obiektach niewapnowanych. Tendencję tę można po części tłumaczyć zjawiskiem rozcieńczenia składnika, a także bezpośrednim wpływem zabiegu odkwaszającego [Motowicka-Terelak i in. 1993].

Wpływ formy nawozu odkwaszającego na zawartość analizowanego pierwiastka w roślinach był niewielki. Nieco większe spadki zawartości siarki obserwowano w obiektach Ca₁Mg₁. Zabieg wapnowania korelował również z zastosowaniem nawożenia siarkowego. Większy spadek zawartości siarki w suchej masie roślin obiektów wapnowanych występował najczęściej w seriach S₀. Jedynie w przypadku pszenicy nawożonej S elementarną nie stwierdzono takiej zależności. Istotny jest również fakt, że większe spadki zawartości siarki w roślinach testowych, pod które wprowadzano nawozy wapniowe, występowały w przypadku stosowania siarki elementarnej.

WNIOSKI

1. Zawartość siarki ogółem w jarych formach pszenicy i rzepaku była dodatnio skorelowana z ilościami siarki wprowadzonej w nawozach.
2. Większy wzrost zawartości siarki miał miejsce w seriach nawożonych Na₂SO₄ w porównaniu z roślinami nawożonymi siarką elementarną.
3. Wapnowanie gleby dolomitem i węglanem wapnia przyczyniło się do obniżenia procentowej zawartości siarki w pszenicy i rzepaku.

PIŚMIENNICTWO

- Boreczek B. 2001. Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. *Fragm. Agron.* 4, 118–133.
- Dampney P.M.R., Salmon S. 1990. The effect of rate and timing of late nitrogen applications to breadmaking wheat as ammonium nitrate or foliar urea-N, and the effect of foliar sulphur application. I. Effect on yield, grain quality and recovery of nitrogen in grain. *Aspects of Applied Biology* 2, 229–241.
- Griffiths M.W., Kettlewell P.S., Hocking T.J. 1995. Effects of foliar-applied sulphur and nitrogen on grain growth, grain sulphur and nitrogen concentrations and yield of winter wheat. *J. Agric. Sci.* 125, 331–339.
- Haneklaus S., Schnug E. 1992. Baking quality and sulphur content of wheat. II. Evaluation of the relative importance of genetics and environment including sulphur fertilization. *Sulphur in Agriculture* 16, 35–38.
- Haneklaus S., Bloem E., Schung E. 2000. Sulphur in agroecosystems. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura* 81, 17–32.
- Kaczor A., Kozłowska J. 2000. Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy. *Folia Univ. Agric. Stetin* 204, *Agricultura* 81, 55–68.
- Lašák T., Hřivná 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 Rol.* 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*). *J. Agric. Sci.* 126, 53–62.

- McGrath S.P., Zhao F.J., Withers P.J.A. 1996. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. *The Fertiliser Society*, 1–47.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H., Witek T. 1993. Liczby graniczne do wyceny zawartości siarki w glebach i roślinach. *IUNG Puławy, Seria P*, 53, 15–20.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 2000. Siarka w glebach i roślinach Polski. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura* 81, 7–16.
- Peacock S., Evans E.J., Monaghan J.D., Rimmer D.L. 1996. S uptake and yield responses of crops grown on a S-deficient soil amended with industrial co-product gypsum. Recycling of plant nutrients from industrial processes, 10th International Symposium of CIEC, 237–242.
- Podleśna A. 2000. Reakcja rzepaku ozimego na zróżnicowane nawożenie siarką. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 481, 335–339.
- Schnug E., Haneklaus S., Murphy D. 1993. Impact of sulphur supply on the baking quality of wheat. *Aspects of Applied Biology* 36, *Cereal Quality* 3, 337–345.
- Schung E., Haneklaus S. 1994. Sulphur deficiency in *Brassica napus*. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft*, 144, 1–28.
- Wielebski F. 2000. Aktualne problemy nawożenia rzepaku w Polsce. *Mat. monograficzne nt. „Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy”* (red.) Grzebisz W., Wyd. AR, Poznań, 261–276.
- Zhao F.J., Hawkesford M.J., Warrilow A.G.S., McGrath S.P., Clarkson D.T. 1996. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. *Plant and Soil* 81, 317–327.