

WPLYW NAWOZÓW MINERALNYCH ZAWIERAJĄCYCH SIARKE NA ZAWARTOŚĆ AZOTU, SIARKI ORAZ AMINOKWASÓW SIARKOWYCH W NASIONACH RZEPAKU JAREGO I ZIARNIE PSZENICY OZIMEJ*

BARBARA FILIPEK-MAZUR¹, OLGA GORCZYCA, MONIKA TABAK

*Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie,
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków*

Synopsis. Celem badań było określenie wpływu nawożenia siarką na zawartość azotu, siarki oraz aminokwasów siarkowych w nasionach rzepaku jarego oraz w ziarnie pszenicy ozimej. Badania prowadzono w warunkach doświadczenia polowego. Siarkę aplikowano na dwóch poziomach intensywności, w postaci trzech nawozów mineralnych, zawierających siarkę w formie siarczanowej (siarczan amonu i Saletrosan 26 makro) lub elementarnej (Wigor S). Nawożenie prowadziło do zwiększenia zawartości azotu i siarki w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy. Najwięcej aminokwasów siarkowych (cysteiny i metioniny) zawierały nasiona rzepaku nawożonego podwójną dawką siarki siarczanowej oraz ziarno pszenicy nawożonej Wigorem S w pojedynczej dawce i nawozami siarkowymi w podwójnej dawce.

Słowa kluczowe: siarka, azot, metionina, cysteina, rzepak, pszenica

WSTĘP

Siarka jest składnikiem pokarmowym pełniącym ważną rolę w procesach fizjologicznych. Wchodzi w skład metioniny, cysteiny i cystyny, a także ferredoksyny i witamin (biotyna, tiamina) [Saito 2000]. Uczestniczy w procesach enzymatycznych (w tym oksydoredukcyjnych) [De Kok i in. 2003], a dzięki połączeniom disulfidowym -S-S- stabilizuje strukturę białek. W warunkach niedoboru siarki następuje redukcja plonu roślin oraz obniżenie jego jakości, między innymi wzrasta zawartość azotu niebiałkowego w roślinach [Brodowska 2004, Krauze i Bowszyc 2000, Scherer 2001]. Najkorzystniejsze dla roślin są umiarkowane dawki siarki, przy których rośliny wykazują największą aktywność fotosyntetyczną. Rośliny z rodziny kapustnych (np. rzepak) są szczególnie wrażliwe na niedobór siarki, ale również rośliny zbożowe, zwłaszcza pszenica, reagują zwiększeniem plonu ziarna i poprawą jego jakości po uwzględnieniu tego pierwiastka w nawożeniu [Griffiths i in. 1995, Klikocka 2004, Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006].

W Polsce, podobnie jak w wielu krajach Europy Środkowej i Zachodniej, od końca XX w. obserwuje się systematyczną redukcję ilości siarki powracającej na powierzchnię upraw [Eurostat]. Obecnie opad siarki z atmosfery na powierzchnię gleby wynosi od kilku do kilkunastu kilogramów na hektar rocznie. Zapotrzebowanie roślin na siarkę wynosi od kilkunastu do nawet 80 kg·ha⁻¹ [Szulc 2008], a straty wynikające z faktu, że siarczanowa forma siarki jest podatna na wymywanie w głąb gleby, wynoszą z reguły od ilości śladowych do kilkudziesięciu kilogramów z hektara rocznie (choć mogą przekraczać 100 kg·ha⁻¹·rok⁻¹) [Jakubus 2006]. Przyczynami nie-

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: rrfilipe@cyf-kr.edu.pl

* Badania zostały sfinansowane z dotacji przyznanej przez MNiSW na działalność statutową

doboru siarki są również: zmniejszenie zużycia nawozów naturalnych i organicznych, a także niskoprocenowych nawozów mineralnych zawierających w swym składzie balast, w tym także siarkę. W rezultacie, większość użytkowanych rolniczo gleb Polski (w 2010 roku było to około 94%) cechuje się niską zawartością siarki siarczanowej [Siebielec i in. 2012]. Zmniejszającą się zawartość siarki w glebach stanowi jeden z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa [Boreczek 2001, Grzebisz i Przygocka-Cyna 2003, Przygocka-Cyna i Grzebisz 2017, Siebielec i in. 2012,].

Celem badań było określenie wpływu nawożenia siarką, zastosowaną w formie siarczanowej i elementarnej, na zawartość azotu, siarki oraz aminokwasów siarkowych w nasionach rzepaku jarego oraz w ziarnie pszenicy ozimej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe prowadzono w latach 2012–2013 na terenie stacji doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie-Mydlnikach (50°09' N, 19°86' E). Eksperyment założono na glebie brunatnej właściwej, zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIb, o składzie granulometrycznym pyłu ilastego. Gleba cechowała się odczynem lekko kwaśnym (zgodnie z klasyfikacją w oparciu o wartość pH_{KCl}), wysoką zawartością przyswajalnych form potasu oraz bardzo wysoką zawartością przyswajalnych form fosforu. Stwierdzono niską zawartość siarki siarczanowej oraz siarki ogółem.

Doświadczenie polowe prowadzono w układzie losowanych bloków. Obejmowało ono 8 obiektów nawozowych, każdy w 4 powtórzeniach. Dawki składników pokarmowych (wprowadzonych pod postacią nawozów mineralnych) dostosowano do wymagań roślin testowych (tab. 1). W eksperymencie zastosowano nawożenie siarką w dwóch dawkach, w postaci trzech nawozów mineralnych. Dwa z nich: siarczan amonu (24% S) i Saletrosan 26 makro (13% S) zawierają siarkę w formie siarczanowej, natomiast trzeci nawóz, Wigor S, siarkę w formie elementarnej (90% S). Roślinami testowymi były rzepak jary *Brassica napus* L. odmiany Markus (2012 rok) i pszenica ozima *Triticum aestivum* L. odmiany Wydma (lata 2012–2013). Uprawy chronione były herbicydami i insektycydami według zasad integrowanej ochrony roślin.

Tabela 1. Dawki składników pokarmowych w doświadczeniu polowym ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Table 1. Doses of nutrients in the field experiment ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Roślina testowa Test plant	N	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O (K)	S1	S2
Rzepak jary Spring rape	100 + 40*	75 (32,7)	160 (132,8)	25	50
Pszenica ozima Winter wheat	80 + 40*	60 (26,2)	140 (116,2)	12,5	25

* nawożenie podzielone na dwa terminy/fertilization at two dates

Po zbiorze obu roślin testowych oraz wysuszeniu w temperaturze 70°C w suszarce z przepływem powietrza i zmieleniu, w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy oznaczono ogólną zawartość azotu metodą destylacyjną Kjeldahla na aparacie Kjeltec 2300, po mineralizacji w stężonym

kwasic siarkowym (VI) [Ostrowska i in. 1991]. Różne formy związków azotu przeprowadzono w formę amonową przez redukcję pyłem cynku i żelaza zmieszanych w stosunku masowym 9:1. W celu przeliczenia ogólnej zawartości azotu w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy na zawartość białka surowego, uzyskane wyniki przemnożono przez współczynnik równy 5,7.

Oznaczenie ogólnej zawartości siarki w nasionach rzepaku oraz ziarnie pszenicy wykonano metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES) na aparacie Optima 7300 DV firmy Perkin Elmer. Analizę rozpoczęto od utlenienia próbek w reakcji z dymiącym kwasem azotowym(V) i związania siarki przez wygrzewanie z roztworem azotanu(V) magnezu [Ostrowska i in. 1991]. Następnie dokonano mineralizacji próbek w piecu do spalań (2 godz. w 300°C, następnie 3 godz. w 450°C), a pozostałość przeprowadzono do roztworu przez działanie roztworem kwasu azotowego(V).

Zawartość aminokwasów siarkowych w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy oznaczono metodą chromatograficzną [Official methods (...) 1990]. Cystynę, cysteinę i metioninę białka próbek utleniono kwasem nadmanganowym do kwasu cysteinowego i sulfonu metioniny, a następnie poddano hydrolizie w 6 mol·dm⁻³ kwasie solnym. Po odparowaniu hydrolizatu, aminokwasy rozpuszczono w buforze cytrynianowym (pH = 2,2). Stężenie kwasu cysteinowego i sulfonu metioniny oznaczono na analizatorze aminokwasów INGOS AAA400 z kolumną jonowymienną, przy użyciu detektora UV/VIS i po uprzednim przeprowadzeniu reakcji barwnej aminokwasów z odczynnikami ninhydrynowym.

Wykonując poszczególne analizy, do serii analitycznych włączano certyfikowany materiał referencyjny oraz wewnętrzne laboratoryjne próby kontrolne. Wyniki analiz (ogólna zawartość azotu i siarki) roślinnego materiału certyfikowanego NCS DC73349, wraz z danymi dla precyzji i dokładności przeprowadzonych oznaczeń, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki analiz roślinnego materiału certyfikowanego NCS DC73349 wraz z danymi dla precyzji i dokładności

Table 2. Results of analyses of certified plant material NCS DC73349 as well as data for precision and accuracy

Pierwiastek Element	Wartość certyfikowana Certified value (g·kg ⁻¹ s.m./DM)	Uzyskana wartość Obtained value (g·kg ⁻¹ s.m./DM)	Precyzja Precision (%)	Dokładność Accuracy (%)
N	15,0 ± 0,3	15,1 ± 0,3	1,99	0,67
S	7,3 ± 0,6	7,0 ± 0,2	2,86	-4,11

Wybrane wyniki (zawartość azotu i siarki w materiale roślinnym oraz wielkość plonu białka) poddano analizie statystycznej, przeprowadzając jednoczynnikową analizę wariancji. Istotność zróżnicowania wartości średnich określono przy użyciu testu Duncana, przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Do statystycznego opracowania wyników wykorzystano program Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

WYNIKI BADAŃ

We wszystkich obiektach nawożonych zawartość azotu w nasionach rzepaku utrzymywała się na zbliżonym poziomie (37,7–38,9 g·kg⁻¹ s.m.) i była istotnie większa od zawartości oznaczonej w nasionach roślin nienawożonych (35,0 g·kg⁻¹ s.m.) (tab. 3). Zróżnicowanie nawożenia (obejmujące różne formy chemiczne i dawki siarki) nie spowodowało istotnych statystycznie zmian zawartości azotu w suchej masie nasion rzepaku.

Tabela 3. Zawartość azotu w nasionach rzepaku jarego i ziarnie pszenicy ozimej (g·kg⁻¹ s.m.)
Table 3. Nitrogen content in spring rape seeds and winter wheat grains (g·kg⁻¹ DM)

Obiekt – Treatment	Rzepak jary Spring rape	Pszenica ozima Winter wheat
1. Brak nawożenia (kontrola) – No fertilization (control)	35,0 b*	15,7 b
2. NPK	38,1 a	20,2 a
3. NPK + S1** (S w postaci siarczanu amonu – S as ammonium sulphate)	37,8 a	20,6 a
4. NPK + S1 (S w postaci Saletrosanu 26 makro – S as Saletrosan 26 macro)	38,9 a	20,3 a
5. NPK + S1 (S w postaci Wigoru S – S as Wigor S)	38,6 a	20,4 a
6. NPK + S2 (S w postaci siarczanu amonu – S as ammonium sulphate)	38,7 a	20,9 a
7. NPK + S2 (S w postaci Saletrosanu 26 makro – S as Saletrosan 26 macro)	38,8 a	20,1 a
8. NPK + S2 (S w postaci Wigoru S – S as Wigor S)	37,7 a	20,6 a

* wartości średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy poziomie $\alpha \leq 0,05$; według testu Duncana/* mean values in columns marked with the same letters do not differ statistically significantly at $\alpha \leq 0,05$, according to the Duncan test

** S1 – pojedyncza dawka siarki/single dose of sulfur, S2 – podwójna dawka siarki/double dose of sulfur

Zastosowane nawożenie spowodowało istotne zwiększenie zawartości azotu w ziarnie pszenicy ozimej, w porównaniu do zawartości w ziarnie obiektu kontrolnego (bez nawożenia) (tab. 3). Ziarno roślin nienawożonych zawierało 15,7 g N·kg⁻¹ s.m., natomiast nawożonych 20,1–20,9 g·kg⁻¹ s.m. Nie stwierdzono istotnego statystycznie zróżnicowania zawartości azotu w ziarnie pszenicy w zależności od dawki i formy chemicznej siarki dodanej w nawozach.

Zawartość białka w nasionach rzepaku mieściła się w przedziale od 219 g (obiekt kontrolny) do 243 g·kg⁻¹ s.m. (obiekt z pojedynczą dawką siarki w postaci Saletrosanu 26 makro). W ziarnie pszenicy nienawożonej zawartość białka wynosiła 98 g·kg⁻¹ s.m., a w ziarnie roślin nawożonych 125–131 g·kg⁻¹ s.m. Zależności międzyobiektywne, w uprawie obu gatunków roślin, były analogiczne do stwierdzonych w odniesieniu do zawartości azotu.

Na podstawie wielkości plonu obu gatunków roślin (plon nasion i ziarna nawożonych roślin rzepaku i pszenicy wynosił odpowiednio 118–140% i 120–131% plonu roślin kontrolnych) oraz zawartości w nich białka wyliczono plon białka zebrany z plonem nasion rzepaku jarego i ziarna pszenicy ozimej (tab. 4). Plon białka odprowadzony z nasionami rzepaku, pod który stosowano nawożenie mineralne, wynosił od 1,23 do 1,46 t·ha⁻¹ i był istotnie większy od plonu białka zebranego z nasionami roślin nienawożonych (0,94 t·ha⁻¹). Najwięcej białka zgromadził rzepak nawożony Saletrosanem 26 makro. Wielkość dawki siarki nie miała wpływu na ten parametr plonu.

Plon białka zebrany z ziarnem pszenicy nawożonej wynosił 0,83–0,90 t·ha⁻¹ i był istotnie większy od plonu zebranego z ziarnem roślin kontrolnych (0,54 t·ha⁻¹) (tab. 4). Forma i dawka siarki nie różnicowały plonu białka zebranego z ziarnem pszenicy.

Zawartość siarki w suchej masie nasion rzepaku była bardziej zróżnicowana niż zawartość w nich azotu. Istotnie statystycznie najmniejszą zawartość stwierdzono w nasionach roślin uprawianych na glebie nienawożonej (3,77 g·kg⁻¹ s.m.), a największą w roślinach nawożonych podwójną dawką siarki siarczanowej w formie siarczanu amonu i Saletrosanu 26 makro (odpowiednio 4,39 g i 4,33 g·kg⁻¹ s.m.) (tab. 5). Zastosowanie podwójnej dawki siarczanu amonu i Saletrosanu 26 makro spowodowało zwiększenie koncentracji tego składnika pokarmowego w nasionach rzepaku o 3,3% w porównaniu do dawki pojedynczej.

Tabela 4. Plon białka zebrany z plonem nasion rzepaku jarego i ziarna pszenicy ozimej (kg·ha⁻¹)

Table 4. Yield of protein collected with yield of spring rape seeds and winter wheat grains (kg·ha⁻¹)

Obiekt – Treatment	Rzepak jary Spring rape	Pszenica ozima Winter wheat
1. Brak nawożenia (kontrola) – No fertilization (control)	860 d*	493 b
2. NPK	1197 bc	759 a
3. NPK + S1** (S w postaci siarczanu amonu – S as ammonium sulphate)	1196 bc	807 a
4. NPK + S1 (S w postaci Saletrosanu 26 makro – S as Saletrosan 26 macro)	1273 ab	765 a
5. NPK + S1 (S w postaci Wigoru S – S as Wigor S)	1118 c	771 a
6. NPK + S2 (S w postaci siarczanu amonu – S as ammonium sulphate)	1200 bc	807 a
7. NPK + S2 (S w postaci Saletrosanu 26 makro – S as Saletrosan 26 macro)	1331 a	825 a
8. NPK + S2 (S w postaci Wigoru S – S as Wigor S)	1143 c	796 a

*, ** jak w tabeli 3/as in table 3

Tabela 5. Zawartość siarki w nasionach rzepaku jarego i ziarnie pszenicy ozimej (g·kg⁻¹ s.m.)

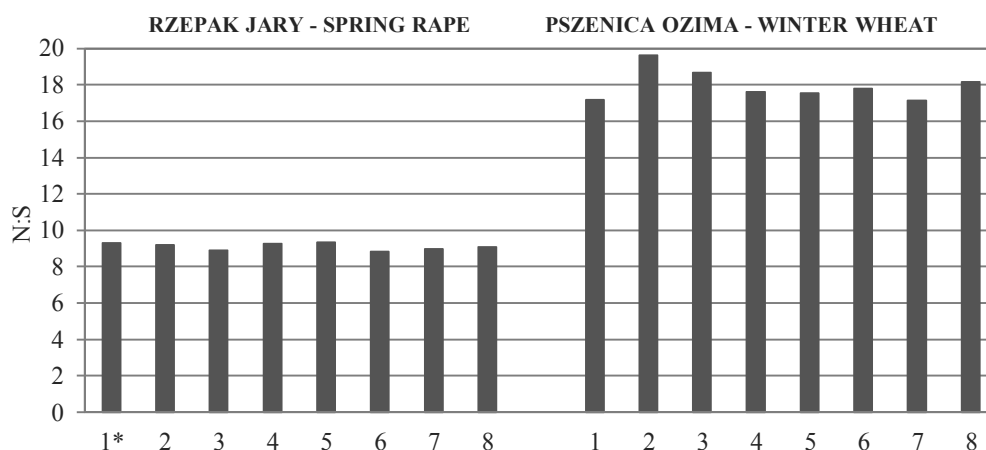
Table 5. Sulfur content in spring rape seeds and winter wheat grains (g·kg⁻¹ DM)

Obiekt – Treatment	Rzepak jary Spring rape	Pszenica ozima Winter wheat
1. Brak nawożenia (kontrola) – No fertilization (control)	3,77 d*	0,92 c
2. NPK	4,14 c	1,04 b
3. NPK + S1** (S w postaci siarczanu amonu – S as ammonium sulphate)	4,25 bc	1,10 ab
4. NPK + S1 (S w postaci Saletrosanu 26 makro – S as Saletrosan 26 macro)	4,19 c	1,15 a
5. NPK + S1 (S w postaci Wigoru S – S as Wigor S)	4,13 c	1,16 a
6. NPK + S2 (S w postaci siarczanu amonu – S as ammonium sulphate)	4,39 a	1,18 a
7. NPK + S2 (S w postaci Saletrosanu 26 makro – S as Saletrosan 26 macro)	4,33 ab	1,17 a
8. NPK + S2 (S w postaci Wigoru S – S as Wigor S)	4,15 c	1,14 ab

*, ** jak w tabeli 3/as in table 3

Nawożenie, nawet przy użyciu jedynie nawozów mineralnych bez siarki, prowadziło do istotnego statystycznie zwiększenia zawartości siarki w ziarnie pszenicy ($1,04\text{--}1,18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), w porównaniu do zawartości w ziarnie roślin kontrolnych ($0,92\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) (tab. 5). Nie stwierdzono istotnego statystycznie zróżnicowania zawartości badanego pierwiastka w ziarnie pszenicy w zależności od formy chemicznej i dawki siarki. W niektórych przypadkach nawożenie siarką (w tym obiema dawkami Saletrosanu 26 makro) prowadziło do uzyskania istotnie statystycznie większej zawartości tego pierwiastka w ziarnie pszenicy niż nawożenie nawozami mineralnymi bez siarki.

Wartość stosunku zawartości azotu do siarki w nasionach rzepaku była prawie dwukrotnie mniejsza niż w ziarnie pszenicy (rys. 1). Wielkość dawki siarki nie miała wpływu na wartość stosunku N:S w nasionach rzepaku. Najmniejszą wartość przyjmował ten parametr w nasionach nawożonych siarczanem amonu. W ziarnie pszenicy zwiększenie dawki siarki z reguły skutkowało obniżeniem wartości stosunku N:S. Największą wartość wykazano w ziarnie nawożonym nawozami mineralnymi bez siarki.

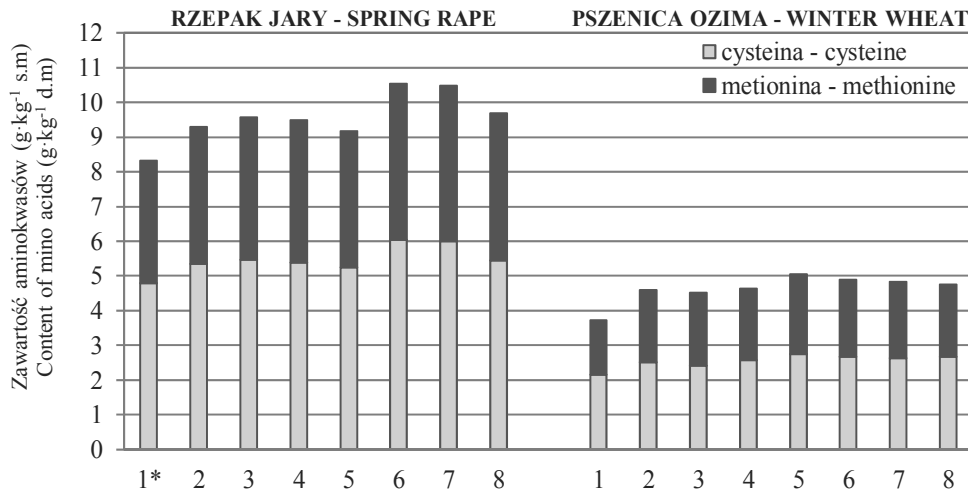


* jak w tabeli 3/as in table 3

Rys. 1. Wartość stosunku zawartości azotu do siarki (N:S) w nasionach rzepaku jarego i ziarnie pszenicy ozimej

Fig. 1. Ratio of nitrogen to sulfur content (N:S) in spring rape seeds and winter wheat grains

Nawożenie siarką spowodowało zwiększenie zawartości cysteiny i metioniny w nasionach rzepaku i ziarnie pszenicy, w porównaniu z zawartością tych aminokwasów w plonie zebranym z poletek kontrolnych (zależność była widoczna dla nawozów siarkowych stosowanych w obu dawkach) i nawożonych nawozami mineralnymi bez siarki (zależność była widoczna zwłaszcza dla nawozów siarkowych stosowanych w podwójnej dawce) (rys. 2). Największą sumaryczną zawartość metioniny i cysteiny oznaczono w nasionach rzepaku nawożonego podwójną dawką siarki siarczanowej ($10,48$ i $10,53\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Sumaryczna zawartość cysteiny i metioniny w ziarnie pszenicy nawożonej podwójną dawką siarki siarczanowej również była duża (w po-



* jak w tabeli 3/as in table 3

Rys. 2. Zawartość aminokwasów siarkowych w nasionach rzepaku jarego i ziarnie pszenicy ozimej
 Fig. 2. Content of sulfuric amino acids in spring rape seeds and winter wheat grains

równaniu do zawartości oznaczonej w ziarnie roślin z innych obiektów), jednak nie największa. Największą sumaryczną zawartością badanych aminokwasów cechowało się ziarno roślin nawożonych pojedynczą dawką Wigoru S (5,05 g·kg⁻¹ s.m.).

DYSKUSJA

Zawartość siarki w suchej masie nasion rzepaku była statystycznie istotnie zróżnicowana. Najmniejszą zawartość stwierdzono w nasionach roślin uprawianych na glebie nienawożonej, a największą w roślinach nawożonych podwójną dawką siarki siarczanowej. Zastosowanie podwójnej dawki siarki siarczanowej spowodowało zwiększenie koncentracji tego składnika pokarmowego w nasionach rzepaku, w porównaniu do dawki pojedynczej. Wyniki Podleśnej [2003], która stwierdziła istotnie większą zawartość siarki w nasionach rzepaku nawożonego siarką, w porównaniu do roślin nienawożonych, zostały potwierdzone w badaniach własnych. W dwuletnim doświadczeniu wazonowym Kaczor i in. [2004] wykazali, że wprowadzenie nawożenia siarką w postaci siarczanowej i elementarnej spowodowało zwiększenie ilości siarki pobranej przez rośliny, w stosunku do wartości w obiektach nienawożonych tym pierwiastkiem. Zastosowanie siarki w postaci siarczanowej 1,5-krotnie zwiększyło ilość siarki pobranej przez rzepak, w porównaniu do ilości pobranej przez rośliny nawożone siarką elementarną.

W badaniach własnych zawartość białka w nasionach rzepaku była zróżnicowana w zależności od zastosowanego nawożenia i wynikała ze stwierdzonej zawartości azotu. Średni plon białka w nasionach rzepaku jarego uzyskany w doświadczeniu własnym wynosił 1,37 t·ha⁻¹ i był większy od plonu uzyskanego przez Murawę i Warmińskiego [2005]. Nawożenie mineralne istotnie zwiększyło plon białka w nasionach w porównaniu do próby kontrolnej. Najko-

rzystniej oddziaływało nawożenie Saletrosanem 26 makro. Zwiększenie dawki poszczególnych nawozów siarkowych z reguły nie wpływało istotnie na wielkość plonu białka.

Nawożenie istotnie zwiększyło zawartość siarki w ziarnie pszenicy, w porównaniu z próbą kontrolną bez nawożenia, a zastosowanie nawozów zawierających siarkę spowodowało zwiększenie zawartości siarki w ziarnie w porównaniu z zawartością stwierdzoną w roślinach nawożonych wyłącznie NPK. Zawartości azotu i siarki w ziarnie pszenicy kształtowały wartość stosunku N:S, który w obiektach nawożonych siarką uległ obniżeniu, co jest korzystne ze względu na jakość ziarna [Schnung i in. 1993]. Najmniejszą wartość stosunku N:S (17,1) stwierdzono w ziarnie pochodzącym z obiektu nawożonego podwójną dawką siarki w postaci Saletrosanu 26 makro. Pozytywny wpływ na tę wartość wykazano we wszystkich obiektach nawożonych siarką. Barczak i Nowak [2010] udowodnili, że nawożenie siarką, niezależnie od jej dawki i formy, powodowało, w porównaniu z obiektem kontrolnym, zwiększenie zawartości azotu ogólnego w ziarnie owsa, jednak istotne zwiększenie wystąpiło jedynie na obiekcie nawożonym 40 kg S·ha⁻¹ w postaci siarczanu(VI) amonu. Pozytywną reakcją kukurydzy na zastosowanie nawożenia siarką w formie nawozu saletrzano-siarczanowego 26:13 (N:S) uzyskali Filipek-Mazur i in. [2013] w 3-letnim doświadczeniu polowym. Wykazali oni istotne zwiększenie zawartości azotu i siarki w ziarnie oraz zwiększenie pobrania tych pierwiastków z plonem w stosunku do obiektu nawożonego wyłącznie NPK. Wielu autorów uważa stosunek N:S w materiale roślinnym jako wskaźnik jego przydatności jako pokarmu dla zwierząt [Richter i Hrivna 1999, Schnug i in. 1993]. Optymalna wartość stosunku N:S, zależnie od gatunku rośliny, powinna wynosić 10–15:1. Wysokie wartości zwykle cechują nasiona gatunków uprawianych w warunkach niedoboru siarki przy jednoczesnym intensywnym nawożeniu azotem, co sprzyja kumulacji azotanów(V) i innych niebiałkowych form azotu.

Badania wielu autorów potwierdzają współdziałanie siarki i azotu w biosyntezie białka [Griffiths i in. 1995, Phillips i Mullins 2004, Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006, Przygocka-Cyna i Grzebisz 2006]. W roślinach niedostatecznie zaopatrzonych w siarkę ograniczona jest synteza białka wynikająca z niedoboru aminokwasów siarkowych, co z kolei prowadzi do gromadzenia azotu niebiałkowego: amidowego, aminowego, a także mineralnego [Marska i Wróbel 2000, McGrath i Zhao 1996, Pyś i Pucek 1993, Scherer 2001]. Niedostateczna ilość siarki może też spowodować zakłócenia w funkcjonowaniu enzymów: nitrogenazy i reduktazy azotanowej [Gawęcki 2003] oraz zaburzać przebieg procesu fotosyntezy poprzez niedobór ferredoksyny, biologicznego przekaznika elektronów [Marska i Wróbel 2000], co może prowadzić do zmniejszenia intensywności rozkładu azotanów(V) i akumulacji mineralnych form azotu w roślinie.

Cysteina jest w roślinie produktem końcowym szlaku asymilacyjno-redukcyjnego i wyjściowym substratem do tworzenia związków organicznych zawierających siarkę. Metionina to również aminokwas siarkowy, egzogeny dla człowieka. Oba enzymy pełnią ważną rolę w kształtowaniu struktury białek i enzymów. Wielu autorów, w badaniach z wykorzystaniem zbóż jako roślin testowych, stwierdziło pozytywny wpływ nawożenia siarką na syntezę białka, a w szczególności na syntezę aminokwasów siarkowych [Eriksen i Mortensen 2002, Klikocka 2004], choć w literaturze można również spotkać doniesienia o braku wyraźnego wpływu nawożenia siarką na zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej i jarej [Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006, Wieser i in. 2004]. Barczak [2010] wykazała, że pierwszym aminokwasem ograniczającym we wszystkich badanych przez nią roślinach (gorczyca biała, łubin wąskolistny i jęczmień jary) była metionina. Dowodzi to niezbędności siarki w procesie biosyntezy białka nasion badanych gatunków, a tym samym jej bardzo ważnej roli w kształtowaniu ilości i jakości białka roślinnego. W badaniach własnych stwierdzono istotne zwiększenie zawartości białka w ziarnie pszenicy pochodzącej ze wszystkich obiektów nawożonych w porównaniu do próby kontrolnej. Konsekwencją zastosowanego nawożenia było także zwiększenie zawarto-

ści aminokwasów siarkowych w ziarnie pszenicy. Duża zawartość aminokwasów siarkowych powoduje podniesienie jakości wypiekowej pszenicy [Podleśna 2005]. W badaniach własnych najczęściej aminokwasów siarkowych zawierały nasiona rzepaku nawożonego siarką siarczanową w dawce 50 kg S·ha⁻¹. Nie stwierdzono znacznych różnic pomiędzy zawartością aminokwasów siarkowych w ziarnach pochodzących z obiektów nawożonych nawozami zawierającymi siarkę, a tych nawożonych wyłącznie NPK bez siarki.

WNIOSKI

1. Nawożenie prowadziło do istotnego statystycznie zwiększenia zawartości azotu i siarki w nasionach rzepaku jarego. Najwięcej siarki, a także najwięcej aminokwasów siarkowych (cysteiny i metioniny), zawierały nasiona rzepaku nawożonego podwójną dawką siarki siarczanowej.
2. Nawożenie spowodowało istotne zwiększenie zawartości azotu i siarki w ziarnie pszenicy ozimej, z reguły przy braku zróżnicowania zawartości tych składników w zależności od dawki danego nawozu siarkowego. Nawożenie siarką prowadziło do uzyskania istotnie większej zawartości siarki w ziarnie pszenicy niż nawożenie nawozami mineralnymi bez siarki lub zawartości te były porównywalne.
3. Nawożenie skutkowało zwiększeniem zawartości metioniny i cysteiny w ziarnie pszenicy, a najwięcej aminokwasów siarkowych zawierało ziarno pszenicy nawożonej Wigorem S w pojedynczej dawce oraz wszystkimi nawozami siarkowymi w podwójnej dawce.

PIŚMIENNICTWO

- Barczak B. 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. Wyd. UTP Bydgoszcz, ss. 131.
- Barczak B., Nowak K. 2010. Oddziaływanie dawki i formy siarki na plonowanie oraz zawartość i plon białka ziarna owsa odmiany Komes. *Fragm. Agron.* 27(1): 14–20.
- Boreczek B. 2001. Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. *Fragm. Agron.* 18(4): 118–133.
- Brodowska M.S. 2004. Wpływ nawożenia siarką na zawartość azotu w roślinach w warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia gleby w wapń i magnez. *Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura* 59(4): 1861–1869.
- De Kok L.J., Castro A., Durenkamp M., Stuiver C.E.E., Westerman S., Yang L., Stulen I. 2003. Sulphur in plant physiology. *Nawozy Nawoż./Fert. Fertiliz.* 2(15): 55–80.
- Eriksen J., Mortensen J.V. 2002. Effects of timing of sulphur application on yield, S-uptake and quality of barley. *Plant Soil* 242: 283–289.
- Eurostat. <http://ec.europa.eu>.
- Filipek-Mazur B., Lepiarczyk A., Tabak M. 2013. Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie oraz skład chemiczny ziarna kukurydzy. Część II. Zawartość azotu i siarki. *Fragm. Agron.* 30(4): 29–35.
- Gawęcki J. (red.) 2003. Białka w żywności i żywieniu. Wyd. AR Poznań, ss. 109.
- 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.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K. 2003. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Nawozy Nawoż./Fert. Fertiliz.* 4(17): 64–77.
- Jakubus M. 2006. Siarka w środowisku. Wyd. AR Poznań, ss. 48.
- Kaczor A., Brodowska M.S., Kowalski G. 2004. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na pobranie siarki przez jare formy pszenicy i rzepaku. *Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura* 59(4): 1855–1860.

- Klikocka H. 2004. Wpływ nawożenia siarką na plon i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego oraz właściwości gleby. *Fragm. Agron.* 22(3): 70–78.
- Krauze A., Bowszys T. 2000. Wpływ stosowania różnych technologii nawozów siarkowych na plonowanie i jakość rzepaku ozimego i jarego. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura* 81: 133–14.
- Marska E., Wróbel J. 2000. Znaczenie siarki dla roślin uprawnych. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura* 81: 69–76.
- 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.* 12: 53–62.
- Murawa D., Warmiński K. 2005. Wpływ zróżnicowanej ochrony roślin na skład chemiczny nasion rzepaku jarego. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 4(1): 77–87.
- Official methods of analysis. 1990. Ed. K. Heldrich. Association of Official Analytical Chemists, Washington, ss. 684.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 333.
- Phillips S.B., Mullins G.L. 2004. Foliar burn and wheat grain yield responses following topdress-applied nitrogen and sulphur fertilizers. *J. Plant Nutr.* 27(5): 921–930.
- Podleśna A. 2003. Wstępna ocena potrzeb nawożenia siarką rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste/Oilseed Crops* 24: 641–649.
- Podleśna A. 2005. Nawożenie siarką jako czynnik kształtujący metabolizm roślin uprawnych i jakość produktów rolnych. *Pam. Puł.* 139: 161–174.
- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G. 2006. Kształtowanie plonu oraz parametrów przemiałowych i wypiekowych pszenicy jarej poprzez nawożenie azotem i siarką. *Pam. Puł.* 142: 381–392.
- Przygocka-Cyna K., Grzebisz W. 2006. Yield and technological quality of malting barley in response to elemental sulphur application. *Nawozy Nawoz./Fert. Fertiliz.* 3(28): 5–17.
- Przygocka-Cyna K., Grzebisz W. 2017. Sulphur balance in Poland – regional analysis. *Fragm. Agron.* 34(1): 60–75.
- Pys J., Pucek T. 1993. Wartość pokarmowa roślin pastewnych uprawianych w rejonie składowiska siarki kopalni “Jeziórko”. Cz. I. Podstawowy skład chemiczny roślin. *Arch. Ochr. Środ.* 1–2: 153–161.
- Richter R., Hrivna L. 1999. The possibilities of increasing utilization of nitrogen by sulphur in winter rape. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 349, *Sesja Nauk.* 64: 297–302.
- Saito K. 2000. Regulation of sulfate transport and synthesis of sulfur-containing amino acids. *Curr. Opin. Plant Biol.* 3: 188–195.
- Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production. *Europ. J. Agron.* 14: 81–111.
- Schnung E., Haneklaus S., Murphy D. 1993. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. *Sulphur Agric.* 17: 8–12.
- Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Hryńczuk B., Łysiak M., Miturski T., Gałązka R., Suszek B. 2012. Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010–2012. IUNG-PIB, Puławy, ss. 202.
- Szulc W. 2008. Potrzeby nawożenia roślin uprawnych siarką oraz metody ich wyznaczania. Wyd. SGGW, Warszawa, ss. 97.
- Wieser H., Gutser R., von Tucher S. 2004. Influence of sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *J. Cereal Sci.* 40: 239–244.

B. FILIPEK-MAZUR, O. GORCZYCA, M. TABAK

EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS CONTAINING SULFUR ON THE CONTENT OF NITROGEN, SULFUR AND SULFUR AMINO ACIDS IN SPRING RAPE SEEDS AND WINTER WHEAT GRAINS

Summary

The aim of the research was to determine the effect of sulfur fertilization on the content of nitrogen, sulfur and sulfur amino acids in spring rape seeds and winter wheat grains. The field experiment was conducted in the years 2012–2013 at the Experimental Station of the University of Agriculture in Krakow. Sulfur was applied in two doses, with three mineral fertilizers containing sulfur. The effect of fertilization with sulfur in the form of sulfate (ammonium sulfate and ‘Saletrosan 26 macro’) and in the elementary form (‘Wigor S’) was analyzed with reference to the control treatment without fertilization and to the treatment fertilized only with nitrogen, phosphorus and potassium. In the first year of the experiment, the test plant was spring rape (‘Markus’ variety), and in the second year – winter wheat (‘Wydma’ variety). Fertilization significantly increased the content of nitrogen and sulfur in spring rape seeds. The highest content of sulfur and sulfur amino acids (methionine and cysteine) was determined in the seeds of rape fertilized with a double dose of sulfate sulfur. Fertilization also significantly increased the content of nitrogen and sulfur in winter wheat grains, but, as a rule, the dose of individual sulfur fertilizer did not diversify the chemical composition of the plants. Sulfur fertilization considerably increased the sulfur content in wheat grains compared with mineral fertilization without sulfur, or these concentrations were comparable. Fertilization caused an increase in methionine and cysteine content in wheat grains. The highest content of sulfur amino acids was found in grains of wheat fertilized with a single dose of Wigor S and a double dose of all sulfur fertilizers.

Key words: sulfur, nitrogen, methionine, cysteine, rape, wheat

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 5.06.2017

Do cytowania – *For citation*

Filipek-Mazur B., Gorczyca O., Tabak M. 2017. Wpływ nawozów mineralnych zawierających siarkę na zawartość azotu, siarki oraz aminokwasów siarkowych w nasionach rzepaku jarego i ziarnie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 34(3): 33–43.