

ROLA DOLISTNEGO NAWOŻENIA SIARKĄ W KSZTAŁTOWANIU WIELKOŚCI PŁONÓW ROŚLIN UPRAWNYCH

Mateusz Świtkowski¹, Bożena Barczak

1. WSTĘP

Dokarmianie dolistne jest precyzyjnym, szybkim i efektywnym sposobem dostarczania makro- i mikroskładników, co ma szczególne znaczenie zwłaszcza w warunkach niesprzyjających odpowiedniemu zaopatrzeniu roślin w składniki pokarmowe poprzez system korzeniowy. Ten sposób aplikacji składników zaleca się zwłaszcza w warunkach niewłaściwego odczynu gleby, w okresach posusznych, a także w fazach krytycznych wegetacji roślin, tzn. w okresach intensywnego wzrostu biomasy, kiedy podaż składników nie nadąża za ich zapotrzebowaniem. Stosowanie tego sposobu nawożenia wielokrotnie zwiększa wykorzystanie przez rośliny składników pokarmowych [Kocoń 2005]. Jego wadą jest konieczność stosowania roztworów o niskim stężeniu, w wyniku czego tą drogą można wprowadzić tylko niewielką ilość składnika pokarmowego. Z tych powodów dokarmianie dolistne może pokryć całość zapotrzebowania na mikroelementy, a tylko część na makroelementy. Jest to sposób nie tylko na zmniejszenie skutków sorpcji chemicznej i biologicznej składników pokarmowych w glebie, ale również precyzyjny zabieg agrotechniczny o charakterze proekologicznym, ponieważ stosowanie nawozów w tak małych ilościach w znacznym stopniu ogranicza ich negatywny wpływ na środowisko [Michałojć i Szewczuk 2003, Witek 2003].

Jednym z makroskładników, który może być aplikowany dolistnie, jest siarka. Pierwiastek ten jest szeroko rozpowszechniony w przyrodzie [Sołek-Podwika i in. 2005, Klikocka 2010]. Do lat 90. XX w. ilość siarki, jaka przemieszczała się do polskich gleb z atmosfery, niejednokrotnie przewyższała wymagania pokarmowe roślin uprawnych. Wskutek transformacji ustroju gospodarczego w końcu XX w. oraz podjętych działań proekologicznych, które doprowadziły do ograniczenia zanieczyszczeń atmosfery związkami siarki, zaczęły pojawiać się niedobory tego pierwiastka w produkcji roślinnej [Motowicka-Terelek i Terelak 2000, Patorczyk-Pytlik i in. 2008, Klikocka i in. 2015]. W tej sytuacji jest niezbędne, oprócz doglebowego stosowania, uwzględnienie dolistnej aplikacji siarki w agrotechnice roślin uprawnych. Jednakże tą drogą można stosować tylko stosunkowo niewielkie ilości siarki [Podleśna 2009].

Od początku lat 90. XX w. obserwuje się pogłębiający deficyt siarki w agrotechnice roślin uprawnych. Wiele badań wskazuje, że może być on jednym z bardziej znaczących stresów pokarmowych dla roślin i ważnym czynnikiem ograniczającym ich rozwój, a w konsekwencji plonowanie, nie tylko w Polsce [Kaczor i Zuzańska 2009, Barczak 2010, Klikocka 2011], ale i w wielu krajach świata [McGrath i in. 2003, Morris 2007, Hussain i in. 2011]. Wobec wagi tego problemu podjęto się oceny roli dolistnej aplikacji siarki w kształtowaniu wielkości plonu roślin uprawnych na podstawie analizy dotychczasowego stanu badań nad tym zagadnieniem.

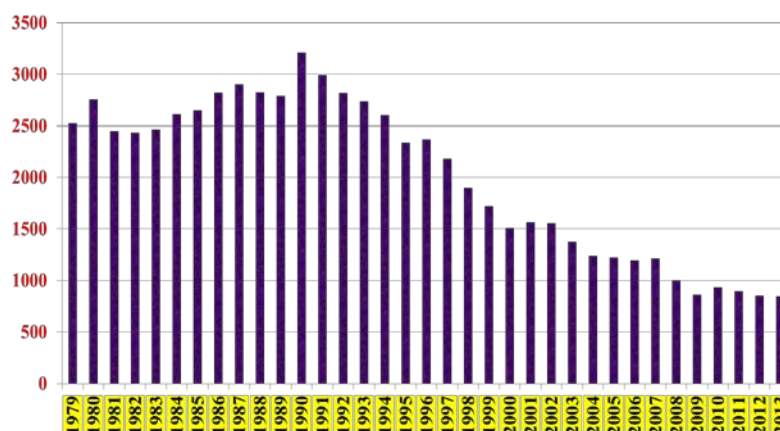
¹ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Zakład Chemii Rolnej, ul. Seminaryjna 5, 85-326 Bydgoszcz, e-mail: mateuszswitkowski@op.pl

2. BILANS SIARKI W GLEBIE

W konsekwencji znacznego ograniczenia dopływu siarki, głównie ze źródeł antropogenicznych, już w latach 90. ubiegłego wieku zauważono deficyt tego składnika w glebie [Grzebisz i Fotyma 1996, Wielebski i in. 2000]. Na przestrzeni ostatnich dekad całkowita emisja dwutlenku siarki wykazuje tendencję spadkową (rys. 1). W Polsce w latach 70. XX w. średnia emisja SO_2 na 1 ha wynosiła około 130 kg S, natomiast w połowie lat 90. zmniejszyła się do 33 kg S [Wielebski i in. 2000]. Na początku XXI w. wynosiła zaledwie 11,5 kg S·ha⁻¹ [Grzebisz i Przygocka-Cyna 2000]. Szulc [2008] podaje, iż średnia suma opadu mokrego i suchego siarki w latach 2000-2003 mieściła się w przedziale 2,0-12,7 kg·ha⁻¹ i na przestrzeni czterech lat zmniejszyła się o połowę. Według danych Klikockiej i in. [2015], emisja SO_2 w 2010 r. w Polsce wynosiła średnio 18,7 kg S·ha⁻¹, wahając się w zależności od województwa od 12,6 kg S·ha⁻¹ (warmińsko-mazurskie) do 23,6 kg S·ha⁻¹ (śląskie). Warto nadmienić, że w latach 80. XX w. pod względem emisji związków siarki do atmosfery Polska zajmowała trzecie miejsce w Europie, po NRD i Wielkiej Brytanii [Lefohn i in. 1999]. Emisja ta na przełomie lat 70. i 80. stanowiła aż 10% w skali kontynentu [Jakubus 2006]. W trzech ostatnich dekadach również w Europie depozycja siarki do gleb zmniejszyła się z poziomu 100 kg S·ha⁻¹ do 5-20 kg S·ha⁻¹. Ilość ta nie jest w stanie pokryć wymagań pokarmowych większości roślin uprawnych [Riley i in. 2000, McGrath i in. 2003, Zhao i in. 2003]. Morris [2007] podaje, że według prognoz Światowego Instytutu Siarkowego globalny deficyt siarki w 2003 r. szacowany był na 9,6 mln ton, a dziesięć lat później mógł osiągnąć blisko 12 mln ton.

W Polsce w połowie lat 90. około 75% gleb charakteryzowało się niską zasobnością w siarkę siarczanową (VI) [Motowicka-Terelak i Terelak 1998]. Według Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski [Siebielec i in. 2012], średnia jej zawartość w ostatnim okresie badań uległa zmniejszeniu. Zawartość S-SO₄²⁻ w blisko 90% badanych próbek nie przekraczała 1,65 mg S·kg⁻¹ gleby. W roku 2010 udział profili glebowych o niskiej zawartości siarki siarczanowej (VI) stanowił 94% [Siebielec i in. 2012, Podleśna 2013].

Oceny poziomu zawartości siarki w glebach dokonuje się w oparciu o analizę trzech form tego pierwiastka: ogólnej, organicznej i siarczanowej (VI) [Motowicka-Terelak i Terelak 1998]. Pod względem rolniczym największe znaczenie ma forma siarczanowa (VI), która dzięki dobrej rozpuszczalności jest głównym źródłem siarki dla roślin. Źródłem tego makroelementu jest wietrzenie skał, mineralizacja materii organicznej, nawozy mineralne, naturalne i organiczne oraz opad atmosferyczny [Kaczor-Zużńska 2009, Podleśna 2013]. Mimo że siarczany (VI) odgrywają kluczową rolę w odżywianiu roślin, stanowią tylko około 5% ogólnych zasobów siarki w glebie. Z tego względu roślinom często towarzyszy deficyt tego składnika [Kertes i Mirleau 2004]. Badania Szulca i in. [2004a] dowiodły, że ograniczona uprawa działa korzystnie na zasobność gleby w siarkę. Zdaniem autorów gleba, na której zastosowano siew bezpośredni, charakteryzuje się większą zawartością siarki niż w warunkach uprawy tradycyjnej.



Rys. 1. Całkowita emisja dwutlenku siarki w Polsce, w tys. ton [GUS 2014, opracowanie własne]

Motowicka-Terelak i Terelak [1998] oraz Fageria [2012] podają, że w warunkach glebowo-klimatycznych naszego kraju głównym czynnikiem odpowiadającym za ilość siarki w glebach jest zawartość materii organicznej, z uwagi na to, że większość tego składnika występuje w formie organicznej. Większość gleb w Polsce zalicza się do gleb lekkich i średnich (ponad 60%) o niskiej zawartości próchnicy (około $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), co uzasadnia występujący w nich deficyt siarki [Podleśna 2013]. Innym czynnikiem limitującym zasobność gleb w siarkę jest wapnowanie, które powoduje obniżenie zawartości siarki siarczanowej (VI) w wyniku powstawania trudno rozpuszczalnego CaSO_4 [Szulc 2004b]. Obniżenie pH z kolei prowadzi do większej kumulacji jonów siarczanowych (VI) przez fazę stałą gleby, ograniczając jej wykorzystanie przez rośliny.

Zachwianie bilansu siarki w glebach polskich jest również wynikiem zmniejszenia zużycia nawozów mineralnych. Zużycie NPK w 1990 roku przekraczało $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dziesięć lat później wynosiło tylko nieco ponad $85 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ [GUS 2009]. Według szacunków Szulca [2008] wraz z nawozami mineralnymi wnosi się w Polsce średnio $10 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ rocznie. Sytuacja ta jest wynikiem ograniczenia w ostatnich dekadach stosowania nawozów mineralnych, które zawierały siarkę jako dodatek lub balast [Grześkowiak 2005]. W tym samym czasie zmniejszyło się stosowanie nawozów naturalnych, zwłaszcza obornika [Wielebski i in. 2000, Wielebski 2008]. Zjawisku niedoboru siarki sprzyja również postęp biologiczny, a więc intensyfikacja rolnictwa, która sukcesywnie powoduje wynoszenie coraz większych ilości związków siarki przez wysokopienne odmiany [Krauze i Bowszys 2000]. Według Grzebisza i Gaj [2000] nie bez negatywnego znaczenia dla ogólnego bilansu siarki w polskich glebach jest znaczny udział w strukturze zasiewów gatunków o dużym zapotrzebowaniu na ten składnik, szczególnie rzepaku ozimego. Szulc [2008] wykazał, że największy ujemny bilans siarki dotyczy właśnie tego gatunku ($-49,7 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$), natomiast wśród zbóż, mających znacznie niższe wymagania ilościowe względem tego składnika, największy deficyt wykazuje kukurydza ($-40 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$). Dla pozostałych zbóż oscylował on w zakresie od -14 do $-7 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ujemny bilans dla rzepaku wykazała również Boreczek [2000] na obiektach pozbawionych nawożenia siarką, a jego wielkość wzrastała wraz ze wzrostem nawożenia azotem.

Zainteresowanie siarką wynika z jej dużej roli w metabolizmie organizmów żywych, bez której ich wzrost i rozwój byłby niemożliwy. Ważna rola fizjologiczna tego pierwiastka wynika przede wszystkim z tego, że jest składnikiem aminokwasów: metio-

niny, cysteiny i cystyny. Metionina jest jednym z aminokwasów egzogennych i zawiera około 50% siarki. Ponadto siarka wchodzi w skład glutationu, koenzymu A, witamin H (biotyna) i B₁ (tiamina). Obecności siarki nie da się zastąpić innymi pierwiastkami w układach oksydoredukcyjnych, które kontrolują syntezę chlorofilu w chloroplastach, redukcję azotanów (V) do amoniaku oraz proces fotosyntezy (ferredoksyna). Odpowiednia podaż siarki ogranicza udział niebiałkowych form azotu w plonie roślin (reduktaza azotanowa). Makroelement ten w warunkach optymalnego zaopatrzenia indukuje również wzrost odporności roślin na warunki stresowe środowiska, zwiększając odporność roślin na choroby i szkodniki [Marska i Wróbel 2000, Gaj i Schnug 2005, Podleśna 2005, Gaj i Klikocka 2011].

Zwraca się również uwagę na rolę siarki w procesie wiązania azotu atmosferycznego przez bakterie brodawkowe u roślin bobowatych. Dużą rolę w tym procesie odgrywają: ferredoksyna oraz nitrogenaza [Kopcewicz i Lewak 2005].

Zapotrzebowanie roślin uprawnych na siarkę jest zróżnicowane i zależy od gatunku (tab. 1), a także od fazy rozwojowej [Podleśna 2013]. Ze względu na zapotrzebowanie na ten składnik, wyodrębnia się gatunki o wysokich potrzebach (40-80 kg S·ha⁻¹), do których zalicza się rośliny kapustne oraz cebulę czosnek i chrzan, o średnich wymaganiach (30-40 kg S·ha⁻¹) – rośliny bobowate, buraki cukrowe i kukurydza oraz o niskich (12-25 kg S·ha⁻¹) – zboża, trawy oraz ziemniak [Lipiński i in. 2003, Siuta i Rejman-Czajkowska 1980]. Przyjmuje się, że rośliny jednoliścienne mają mniejsze wymagania pokarmowe względem tego pierwiastka aniżeli rośliny dwuliścienne. Rzepak ozimy zaliczany jest do grupy o największym zapotrzebowaniu na siarkę, gdyż wytworzenie jednej tony nasion oraz odpowiadającej jej ilości słomy wymaga dostarczenia średnio 16 kg tego składnika (z zakresem 5-20 kg). Z kolei rośliny strączkowe potrzebują średnio 8 kg S (zakres 5-13 kg), a zboża 3-4 kg (z zakresem 1-6 kg) [Jamal i in. 2010].

Duże znaczenie siarki w żywieniu roślin wynika nie tylko z jej obecności w wielu związkach i procesach metabolicznych, lecz ze ścisłego współdziałania z azotem, co jest jednym z czynników determinujących wielkość plonu [Phillips i Mullins 2004, Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006, Przygocka-Cyna i Grzebisz 2006, Klikocka i Cybulska 2014]. Niedostateczna ilość siarki ogranicza efektywność azotu. Intensywne nawożenie tym składnikiem przy jej niedostatku, pogłębia deficyt [Janzen i Bettany 1984, Lośak i in. 2000]. Wiele badań potwierdza, że wykorzystanie azotu z nawożenia oraz jego efektywność jest wyższa w warunkach optymalnego zaopatrzenia w siarkę [Fotyma 2003, Podleśna 2005, Potarzycki 2004b].

Tabela 1. Średnie jednostkowe pobranie siarki przez rośliny uprawne (w kg·t⁻¹ ziarna/nasiona + odpowiednia masa słomy/liści) [wg różnych źródeł]

Gatunek	Pobranie siarki, kg S·t ⁻¹
Rzepak	15-25
Buraki cukrowe	0,7-0,8
Ziemniaki	0,3-0,5
Kukurydza na ziarno	3-4
Pszenica ozima	4-5
Pszenżyto ozime	3-4
Żyto ozime	2,5-3,5
Jęczmień jary	3-4
Owies	3-4
Strączkowe	6-7

Według Potarzyckiego [2004b] deficyt siarki obniża intensywność przemieszczania asymilatów z organów wegetatywnych do ziarniaków roślin zbożowych. Znajduje to potwierdzenie w badaniach Eriksena i in. [2001], które wykazały, że właściwe zaopatrzenie jęczmienia jarego w siarkę skutkowało transportem azotu zgromadzonego w liściach do kłosa w 70%. Autor dodaje, że w warunkach deficytu w siarkę, wydajność tego procesu ulega redukcji nawet o połowę. Oba składniki powinny być dostarczone we właściwych proporcjach, które zapewnią ich największe wykorzystanie. Janzen i Bettany [1984] twierdzą, że stosunek N:S w glebie powinien wynosić 7:1. Wartości niższe wpływają negatywnie na wielkość plonów. Sachidev i Deb [1990] podają, iż rzepak wykorzystuje 27-31% siarki nawozowej w warunkach niedoboru azotu, natomiast zastosowanie 60 kg N·ha⁻¹ podnosi jej wykorzystanie do 38%.

Siarka spełnia obok roli plonotwórczej również funkcję ekologiczną. Jest to związane z jej wpływem na lepsze wykorzystanie azotu, który w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w ten składnik w mniejszym stopniu ulega ulatnianiu do atmosfery i wymywaniu do wód gruntowych [Schnug i Haneklaus 1994, Griffiths i in. 1995, Motowicka-Terelak i Terelak 1998, Podleśna 2013].

Ilość siarki siarczanowej (VI) w glebach Polski stanowi 9-15% ilościowego zapotrzebowania roślin na azot [Szulc 2008]. W Szwecji w uprawie zbóż zaleca się, aby na każde 10 kg N stosować 1 kg S [Bertilsson 1994, Walker i Dawson 2003]. Liczne badania wskazują, że siarka współdziała nie tylko z azotem [Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006, Przygocka-Cyna i Grzebisz 2006], ale i z potasem [Kaczor i Łaszcz-Zakorczenienna 2003], a także z wapniem i magnezem [Brodowska i Kaczor 2002, Kaczor i Brodowska 2003, Klikocka i in. 2014].

Tabela 2. Fazy krytyczne zapotrzebowania roślin uprawnych na siarkę [wg różnych źródeł]

Roślina uprawna	Faza krytyczna
Rzepak	początek wzrostu łodygi do fazy kwitnienia
Ziemniaki	formowanie bulw
Kukurydza	faza szybkiego wzrostu, nalewanie ziarna
Zboża	faza strzelania w źdźbło
Buraki cukrowe	faza zakrywania międzyrzędzi
Strączkowe	początkowa faza wzrostu oraz faza pąkowania

3. WPŁYW DOLISTNEJ APLIKACJI SIARKI NA WIELKOŚĆ PLONU

Nawożenie dolistne zajmuje w agrotechnice roślin uprawnych miejsce szczególne. Uważane jest za jeden z kluczowych elementów intensywnej produkcji roślinnej, umożliwia bowiem dostarczenie składników pokarmowych w warunkach utrudnionego pobierania z gleby i w fazach największego na nie zapotrzebowania. Literatura przedmiotu donosi o kilku- lub kilkunastoprocentowejwyżce plonów w wyniku stosowania nawożenia dolistnego, a zwłaszcza roztworu mocznika, siarczanu (VI) magnezu oraz nawozów wieloskładnikowych i mikroelementowych [Jaskulski i Jaskulska 2009, Jaskulski i in. 2011]. Do składników, które można stosować dolistnie, zalicza się również siarka.

Postępujący niedobór siarki sprawił, że przeprowadzono wiele badań nad uwzględnieniem jej w nawożeniu roślin oraz nad oddziaływaniem na wielkość plonów roślin uprawnych. Większość z badań dotyczyła roślin siarkolubnych, przede wszystkim rzepaku ozimego. Nie brakuje jednak publikacji dotyczących gatunków o znacznie

niższych wymaganiach względem tego pierwiastka, do których zalicza się: zboża, okopowe i strączkowe. Dane literaturowe wskazują, że wysoką efektywność plonotwórczą siarki można osiągnąć tylko w warunkach jej niedoboru [Wielebski i Wójtowicz 2003, Jakubus i Tobiła 2005]. Na glebach o średniej, bądź wysokiej zasobności w siarkę siarczanową (VI) wykazano na ogół brak plonotwórczego oddziaływania lub nawet obniżenie plonów [Świdarska-Ostapiak i Stankowski 2002, Cyna i Grzebisz 2003, Wielebski i Wójtowicz 2003].

Dolistną aplikację siarki najczęściej przeprowadza się za pomocą wodnego roztworu siarczanu (VI) magnezu. W praktyce stosuje się 5% roztwór tego związku. Dawka 200-300 dm³·ha⁻¹ wnosi odpowiednio: 1,6-2,4 kg MgO·ha⁻¹ oraz 1,3-2,0 kg S·ha⁻¹. Wadą dokarmiania dolistnego jest ograniczenie co do ilości stosowanego składnika.

Siarka należy do pierwiastków trudno przemieszczających się z liści do pozostałych organów [Michałojć i Szewczuk 2003]. Badania Schnuga i in. [1998] wykazały, że rzepak ozimy wykorzystuje tylko do 3% dolistnie podanego siarczanu (VI) magnezu oraz 33-35% siarki elementarnej. Z kolei Booth i in. [1995] donoszą o 2% efektywności pobierania siarki przez liście. Pozostała część trafia do gleby, gdzie jest stopniowo uwalniana i pobierana przez system korzeniowy.

W ostatnich latach coraz bardziej docenia się rolę dolistnego nawożenia roślin, jednak w zakresie skutków dokarmiania ich siarką istnieją duże rozbieżności wyników badań. Barczak [2010] w badaniach nad gorczyczą białą i jęczmieniem jarym stwierdziła, że dolistne stosowanie siarki dało nieco niższe efekty plonotwórcze w stosunku do jej glebowej aplikacji. Różnica wielkości plonu ziarna jęczmienia wynosiła 0,24 t·ha⁻¹, a gorczyczy 0,1 t·ha⁻¹. Z kolei dolistne zastosowanie siarki okazało się korzystniejsze w porównaniu z doglebowym, jeśli chodzi o plon nasion i słomy oraz kształtowanie się elementów plonowania łubinu wąskolistnego [Barczak i in. 2013]. Również badania Krauzego i Bowszys [2001], a także Podleśnej [2009] nad rzepakiem ozimym potwierdziły wyższą efektywność tradycyjnego sposobu nawożenia siarką.

Związki siarki zawarte w cieczy roboczej mogą powodować poparzenia liści, co ogranicza proces fotosyntezy, transpiracji i negatywnie wpływa na wielkość plonu [Motowicka-Terelak i Dudka 1991, Phillips i Mullins 2004]. Tym faktem Podleśna [2009] tłumaczy, że dolistne stosowanie siarczanu (VI) magnezu w agrotechnice rzepaku ozimego pozwoliło uzyskać tylko 73% plonu otrzymanego w wyniku doglebowej aplikacji tego nawozu. Redukcja plonu nasion rzepaku w warunkach niedoboru siarki może być też następstwem niebilansowanego stosunku N:S, a także opadania kwiatów oraz braku zawiązywania łuszczyn rzepaku [Fismes i in. 2000, Podleśna 2013].

Deficyt siarki powodujący wystąpienie wizualnych objawów można w znacznym stopniu załagodzić, stosując dolistne nawożenie tym składnikiem [Landry i in. 1991, Podleśna 2009]. Dolistna aplikacja izotopów ³⁴S i ³⁵S wykazała przemieszczanie się siarki do wszystkich organów roślinnych [Zhao i in. 2001]. Badania Koprivy i in. [2002] potwierdzają udział siarki w fotosyntezie, a także w akumulacji suchej masy. W wyniku dolistnej aplikacji siarki następuje zwiększenie zawartości glutationu, związku, który wpływa korzystnie na wzrost korzeni, gdyż bierze udział w transporcie auksynu [Kopriva i in. 2010].

Plon ziarna zbóż uwarunkowany jest głównie trzema elementami struktury plonu: liczbą kłosów na jednostce powierzchni, liczbą ziarniaków w kłosie oraz masą tysiąca ziaren (MTZ). Badania Barczak i Majcherczaka [2008] oraz Potarzyckiego [2004a] nad jęczmieniem jarym oraz Podleśnej [2003] nad pszenicą ozimą wykazały, że dolistne zastosowanie siarki korzystnie kształtowało elementy plonowania. Z kolei Sztuder

i Sienkiewicz-Cholewa [2009] wykazali, że siarczan (VI) magnezu aplikowany dolistnie wraz z mikroskładnikami spowodował istotny wzrost plonu białka ogólnego u zbóż oraz u roślin bobowatych. Przyrost plonu białka w porównaniu z obiektem kontrolnym dla jęczmienia jarego wynosił 31%, dla pszenicy jarej i ozimej odpowiednio: 35 i 37% oraz 44% dla pszenżyta. Intensywna produkcja roślinna wymaga bilansowania wysokich dawek azotu drugoplanowymi makroskładnikami, do których zalicza się magnez oraz siarkę. Jedno-, dwu-, a nawet trzykrotna dolistna aplikacja siarczanu (VI) magnezu na plantacjach o wysokim potencjale plonowania podnosi efektywność azotu, prowadząc do zwiększenia zawartości białka oraz MTZ, a w efekcie wielkości plonu (tab. 3).

Tabela 3. Wpływ dolistnego nawożenia zbóż siarczanem (VI) magnezu na cechy jakościowe ziarna [Matłosz 1992]

Gatunek	MTZ, g			Zawartość białka, %		
	fazy dolistnej aplikacji siarczanu magnezu					
	kontrola	krzewienie	kłoszenie	kontrola	krzewienie	kłoszenie
Pszenica ozima	37,8	39,9	40,5	10,93	11,30	11,50
Żyto ozime	30,0	32,2	32,9	8,0	8,65	8,75
Pszenżyto ozime	50,6	52,0	52,5	9,56	10,20	10,30
Pszenica jara	41,0	42,4	43,1	10,95	11,45	11,50
Jęczmień jary	38,8	40,8	41,5	11,20	11,50	11,80

4. PODSUMOWANIE

Nawożenie jest kluczowym czynnikiem determinującym ilość i jakość plonów roślin uprawnych. Tylko dzięki zachowaniu zasad prawidłowego żywienia roślin można uzyskać ich wysokie plony o pożądanej wartości biologicznej i technologicznej, zachowując jednocześnie odpowiednią żyzność gleby i nie powodując niekorzystnych zmian w środowisku naturalnym. Nawożenie ma na celu dostarczenie składników pokarmowych we właściwych dawkach i proporcjach, odpowiedniej formie i terminie, aby stworzyć optymalne warunki dla wzrostu i rozwoju roślin. W ostatnich latach do niezbędnych makroskładników nawozowych zalicza się siarkę, której niedobór w polskich glebach z uwagi na zmniejszoną emisję tego pierwiastka do atmosfery, nieustannie pogłębia się. Konieczność nawożenia siarką stała się jednym z ważniejszych problemów w żywieniu roślin nie tylko w Polsce, ale i w Europie.

Zachwianie bilansu siarki w agroekosystemach spowodowało wzrost zainteresowania problemem oddziaływania tego składnika na wielkość i jakość plonów. Istotną rolę odgrywa m.in. współdziałanie siarki i innych składników nawozowych. W warunkach niedoboru siarki w glebie obniżona jest plonotwórcza efektywność azotu, a intensyfikacja nawożenia tym składnikiem pogłębia deficyt siarki, który z kolei hamuje pobieranie azotu przez rośliny, ograniczając ich wzrost i rozwój. W tej sytuacji niezbędne jest monitorowanie zasobności gleb w siarkę, opracowanie właściwej metody oznaczania wartości krytycznych, które jasno zdefiniują jej deficyt bądź nadmiar, a także poszukiwanie efektywnego sposobu jej aplikacji.

Duże znaczenie mają w tym kontekście badania wpływu siarki na plonowanie roślin uprawnych, które pozwolą na aktualizację zaleceń nawozowych, uwzględniających ten składnik. Jednym ze sposobów aplikacji siarki jest dokarmianie dolistne. Wielu autorów wykazało, że jego efektywność plonotwórcza w warunkach niedoboru przyswajalnych form siarki w glebie, była porównywalna, a nawet wyższa, niż nawożenia doglebowego. Liczne badania wskazują na zalety tego zabiegu: dużą szybkość działania składnika podawanego z cieczą roboczą, możliwość uniknięcia sorpcji biologicznej i chemicznej w glebie, jak również możliwość stosowania składnika ze środkami ochrony roślin. Jednakże poważną wadą tego sposobu nawożenia jest ryzyko poparzenia liści oraz uzależnienie od warunków pogodowych. W myśl zasad integrowanego rolnictwa, zgodnie z którymi żaden ze składników pokarmowych nie powinien być w deficycie ani w nadmiarze, ten sposób żywienia pozwala interwencyjnie uzupełnić w małej ilości niedobory danego pierwiastka, bez negatywnego oddziaływania na środowisko. W strategii nowoczesnego rolnictwa nawożenie doglebowe i dolistne, nie powinny funkcjonować oddzielnie, lecz wzajemnie uzupełniać się.

LITERATURA

- Barczak B., 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. Rozprawy UTP Bydgoszcz, 144.
- Barczak B., Majcherczak E., 2008. Effect of varied fertilization with sulphur on selected spring barley yield structure components. *J. Cent. Europ. Agric.* 9(4), 777-784.
- Barczak B., Nowak K., Knapowski T., Ralcewicz M., Kozera W., 2013. Reakcja łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.) na nawożenie siarką. Cz. I. Plon oraz wybrane elementy jego struktury plonu. *Fragm. Agron.* 30(2), 23-34.
- Bertilsson G., 1994. Effect of sulphur fertilization on oilseed drops and cereals in Sweden. *Norw. J. Agric. Sci.* 15, 111-118.
- Booth E., Batchelor S.E., Walker K.C., 1995. The effect of foliar sulphur on individual glucosinolates in oilseed rape seed. *Z. Pflanzenernähr. Bodend.* 158, 87-88.
- Boreczek B., 2000. Bilans siarki w zmianowaniu czteropolowym. *Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization* 4(5), 173-184.
- Brodowska M., Kaczor A., 2002. Skład kationowy roślin uprawianych w warunkach zróżnicowanego zaopatrzenia gleby w magnez, wapń i siarkę. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 484, 61-67.
- Cyna K., Grzebisz W., 2003. Wpływ nawożenia siarką elementarną na zawartość siarczanów w glebie i plonowanie rzepaku ozimego. *Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization* 4, 104-116.
- Eriksen J., Nielsen M., Mortensen J., Schjorring J., 2001. Redistribution of sulphur during generative growth of barley plants with different sulphur and nitrogen status. *Plant Soil.* 230, 239-246.
- Fageria N.K., 2012. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Commun. Soil Sci. Plant.* 43, 2063-2113.

- Fismes J., Vong P., C., Guckert A., Frossard E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *Eur. J. Agron.* 12, 127-141.
- Fotyma E., 2003. Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. *Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization* 4, 117-136.
- Gaj R., Schnug E., 2005. Nawożenie siarką stało się konieczne. *Top Agrar Polska* 3, 162-166.
- Gaj R., Klikocka H., 2011. Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie – od żywienia do ochrony. *Progr. Plant Protect.* 51(1), 33-44.
- 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., Fotyma E., 1996. Ocena odżywienia siarką rzepaku uprawianego w północno-zachodniej Polsce. *Rośl. Oleiste XVII*, 275-280.
- Grzebisz W., Gaj R., 2000. Zbilansowane nawożenie rzepaku ozimego. [w:] *Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy*, W. Grzebisz (red.), AR Poznań, 83-98.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K., 2000. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. [w:] *Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy*, W. Grzebisz (red.), AR Poznań, 64-77.
- Grześkowiak A., 2005. Kierunki zmian w asortymencie nawozów mineralnych. <http://www.ppr.pl/artukul.php?id=2905>.
- Hussain K., Islam M., Siddique M.T., Hayat R., Mohsan S., 2011. Soybean growth and nitrogen fixation as affected by sulfur fertilization and inoculation under rainfed conditions in Pakistan. *Int. J. Agric. Biol.* 13, 951-955.
- Jakubus M., 2006. Siarka w środowisku. AR Poznań.
- Jakubus M., Tobała P., 2005. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w rzepaku ozimym w zależności od nawożenia. *Rośl. Oleiste* 26, 149-161.
- Jamal A., Moon Y.S., Abdin M.Z., 2010. Sulphur – a general overview and interaction with nitrogen. *Aust. J. Crop Sci.* 4(7), 523-529.
- Janzen H.H., Bettany J.R., 1984. Sulphur nutrition of rapeseed. I. Influence of fertilizer nitrogen and sulphur rates. *SoilSci. Soc. Am. J.* 48, 100-106.
- Jaskulski D., Jaskulska I., 2009. Efekt produkcyjny dolistnego stosowania nawozu magnezowo-mikroelementowego Sonata. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 541, 157-164.
- Jaskulski D., Piekarczyk M., Jaskulska I., 2011. Wpływ nawożenia dolistnego makro- i mikroelementami na plon i jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej w krótko-trwałej monokulturze. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 559, 97-104.

- Kaczor A., Brodowska M., 2003. Wpływ wapnowania i nawożenia siarką na wzrost, rozwój i plonowanie jarych form pszenicy i rzepaku. Cz. II. Rzepak jary. *Acta Agrophys.* 1(4), 661-666.
- Kaczor A., Łaszcz-Zakorczeniowa J., 2003. Wpływ nawożenia siarką i potasem na plonowanie i zawartość różnych form siarki w jęczmieniu jarym. *Acta Agrophys.* 1(2), 239-244.
- Kaczor A., Zuzańska J., 2009. Znaczenie siarki w rolnictwie. *Chem. Dydak. Ekol. Metr.* 14(1-2), 69-78.
- Kertes M., Mirleau P., 2004. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. *J. Exp. Bot.* 55(404), 1939-1945.
- Klikocka H., 2010. Znaczenie siarki w biosferze i nawożeniu roślin. *Przem. Chem.* 89(7), 903-908.
- Klikocka H., 2011. Zasoby siarki w Polsce oraz jej znaczenie w przemyśle i rolnictwie. *Przem. Chem.* 90(9), 1000-1009.
- Klikocka H., Cybulska M., 2014. Sulphur and nitrogen fertilization of spring wheat. Mineral fertilization of spring wheat. Sarrbrucken, LAP Lambert Academic Publishing, 122, ISBN 978-3-659-61515-3.
- Klikocka H., Narolski B., Michałkiewicz G., 2014. The effects of tillage and soil mineral fertilization on the yield and yield components of spring barley. *Plant Soil Environ.* 60(6), 255-261.
- Klikocka H., Wyłupek T., Narolski B., 2015. Analiza zawartości siarki w biosferze Zamojszczyzny. *Ochr. Środ.* 37, Wrocław, 33-42.
- Kocoń A., 2005. Dolistne dokarmianie roślin. *Raport Rolny*, 42-43.
- Kopcewicz J., Lewak S., 2005. *Fizjologia roślin*. PWN Warszawa.
- Kopriva A., Mugford S.T., Kopriva S., 2010. Arabidopsis root growth dependence on glutathione is linked to auxin transport. *Plant Cell Rep.* 29, 1157-1167.
- Kopriva S., Suter M., Ballmoos P.V., Hesse H., Krahenbuhl U., Rennenberg H., Brunold C., 2002. Interaction of sulphate assimilation with carbon and nitrogen metabolism in lemma minor. *Plant Physiol.* 130, 1406-1413.
- Krauze A., Bowszys T., 2000. Wpływ stosowania różnych technologii nawozów siarkowych na plonowanie i jakość rzepaku ozimego i jarego. *Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura* 204(81), 133-142.
- Krauze A., Bowszys T., 2001. Wpływ terminu nawożenia siarką rzepaku jarego Star na plon nasion oraz zawartość siarki i tłuszczu. *Rośl. Oleiste XXII*, 285-290.
- Landry J., Lergis-Delaporte S., Ferron F., 1991. Foliar application of elemental sulphur on metabolism of sulphur and nitrogen compounds in leaves of sulphur-deficient wheat. *Phytochemistry* 30(3), 729-732.

- Lefohn A., Husar J., Husar R., 1999. Estimating historical antropogenic global sulphur emission patterns for the period 1850-1990. *Atmosph. Environ.* 33, 3435-3444.
- Lipiński W., Terelak H., Motowicka-Terelak T., 2003. Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. *Rocz. Glebozn.* 3, 79-84.
- Lośak 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 Rol.* 472, 481-487.
- McGrath S.P., Zhao F.J., Blake-Kalff M.M., 2003. History and outlook for sulphur fertilizers in Europe. *Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization* 2(15), 5-27.
- Marska E., Wróbel J., 2000. Znaczenie siarki dla roślin uprawnych. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agricultura* 81, 69-76.
- Michałojć Z., Szewczuk Cz., 2003. Teoretyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. *Acta Agrophys.* 85, 7-28.
- Motowicka-Terelak T., Dudka S., 1991. Degradacja chemiczna gleb zanieczyszczonych siarką i jej wpływ na rośliny uprawne. *IUNG Puławy, R(284)*, 1-95.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H., 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska Warszawa.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H., 2000. Siarka w glebach i roślinach Polski. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agricultura* 81, 7-16.
- Morris R.J., 2007. Sulphur in Agriculture. Global overview. *Fertiliz. Focus.* 1/2, 12-16.
- Patorczyk-Pytlik B., Zbroszczyk T., Zimoch A. 2008. Zawartość siarki w niektórych gatunkach roślin łąkowych. *Zesz. Nauk. UP Wrocław, Rolnictwo* 92, 67-77.
- 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., 2005. Nawożenie siarką jako czynnik kształtujący metabolizm roślin uprawnych i jakość płodów rolnych. *Pam. Puł.* 139, 161-174.
- Podleśna A., 2009. Wpływ doglebowego i dolistnego stosowania siarki na plon i skład mineralny roślin rzepaku ozimego. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sect. E,* 64(1), 68-75.
- Podleśna A., 2013. Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych. *Monogr. i Rozpr. Nauk.* 37, IUNG-PIB Puławy.
- 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.
- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., Sowiński M., 2003. Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarką w doświadczeniu polowym. *Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization* 4(17), 169-179.

- Potarzycki J., 2004a. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. Cz. I. Plon i jakość ziarna. Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization 4(17), 180-192.
- Potarzycki J., 2004b. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. Cz. II. Wykorzystanie azotu i siarki z nawozów. Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization 4(17), 193-205.
- Przygocka-Cyna K., Grzebisz W., 2006. Yield and technological quality of malting barley in response to elemental sulphur application. Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization 3, 28, 5-17.
- Riley N.G., Zhao F.J., McGrath S.P., 2000. Availability of different forms of sulphur fertilizers to wheat and oilseed rape. Plant Soil 222, 139-147.
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polski, 2009. Ochrona środowiska i gospodarka wodna. GUS Warszawa.
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polski, 2014. Ochrona środowiska i gospodarka wodna. GUS Warszawa.
- Sachidev M.S., Deb D.L., 1990. Nitrogen and S uptake and efficiency in the mustard-moongmaize cropping systems. Fertilizer News 35, 49-55.
- Schnug E., Haneklaus S., 1994. Ecological aspects of plant sulphur supply. Norw. J. Agric. Sci., Suppl. 15, 149-156.
- Schnug E., Paulsen H., M., Untiedt H., Haneklaus S., 1998. Fate and physiology of foliar applied sulphur compounds in Brassica napus. Proc. Symp. Foliar Fertilization: A technique to improve production and decrease pollution, 10-14 December 1995, Cairo, Egipt., Publ. NRC, Cairo, 91-100.
- Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H. i in, 2012. Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska Warszawa.
- Siuta J., Rejman-Czajkowska M., 1980. Siarka w biosferze. PWRiL Warszawa.
- Sołek-Podwika K., Niemyska-Lukaszuk J., Ciarkowska K., 2005. Zasiarczenie gleb pól górniczych byłej kopalni siarki „Grzybów”. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 505, 399-405.
- Sztuder H., Sienkiewicz-Cholewa U., 2009. Efektywność dokarmiania dolistnego w uprawie zbóż i roślin motylkowych. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 538, 267-275.
- Szulc W., Rutkowska B., Łabędowicz J., 2004a. Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E, 59(1), 55-62.
- Szulc W., Rutkowska B., Łabędowicz J., 2004b. Zawartość siarki siarczanowej w glebie w zależności od roztworu ekstrakcyjnego i systemu nawożenia. Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization 1(18), 129-136.
- Szulc W., 2008. Potrzeby nawożenia roślin siarką oraz metody ich wyznaczania. Rozpr. Nauk. Monogr. 332, SGGW Warszawa.

- Świdarska-Ostapiak M., Stankowski S., 2002. Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie i komponenty plonu owsa nieoplewionego i oplewionego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 484, 711-717.
- Walker K., Dawson C., 2003. Sulphur fertiliser recommendations in Europe. *Fertilizers Fertilization, Biogeochemistry of sulphur in agricultural systems. Part II. Reprints from Inter. Fertilis. Soc. Proc.* 3, 71-84.
- Wielebski F., Wójtowicz M., Czernik-Kołodziej K., 2000. Ocena stanu zaopatrzenia w siarkę rzepaku uprawianego na polach doświadczalnych wybranych Zakładów Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. *Rośl. Oleiste* 21, 465-475.
- Wielebski F., Wójtowicz M., 2003. Wpływ wiosennego nawożenia siarką na plon i zawartość glukozyolanów w nasionach odmian mieszańcowych złożonych rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste* 24, 109-119.
- Wielebski F., 2008. Efektywność nawożenia siarką różnych typów hodowlanych odmian rzepaku w świetle wyników wieloletnich doświadczeń polowych. *Rośliny Oleiste* 29, 91-103.
- Witek A.J., 2003, *Technologia dolistnego dokarmiania roślin w uprawach polowych.* AR Lublin.
- Zhao F.J., Verkamper K.C.J., Birdsey M., Blake-Kalff M.M.A., McGrath S.P., 2001. Use of the enriched stable isotope ^{34}S to study sulphur uptake and distribution in wheat. *J. Plant Nutr.* 24(10), 1551-1560.
- Zhao F.J., McGrath S.P., Blake-Kalff M.M., Link A., Tucker M., 2003. Crop responses to sulphur fertilization in Europe. *Nawozy Nawożenie/Fertilizers Fertilization* 3(16), 26-47.