

Anna Podleśna

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

PERSPEKTYWY NAWOŻENIA ROŚLIN SIARKĄ*

Wstęp

Propagowany w ostatnich latach integrowany system produkcji zakłada dostarczanie roślinom uprawnym wszystkich składników pokarmowych zgodnie z tzw. teorią *Albrecta* (30). Zakłada ona utrzymywanie w glebie zrównoważonego bilansu składników pokarmowych, aby żaden z nich nie występował w ilości deficytowej lub w nadmiarze. Według tej teorii optymalna zasobność gleby w składniki pokarmowe stwarza warunki utrzymania wysokiej aktywności biologicznej i optymalnych właściwości fizycznych, a wymywanie składników zostaje wydatnie zmniejszone. Natomiast rośliny rosnące na tej glebie są w sposób zbilansowany zaopatrzone w składniki pokarmowe i są oceniane jako odpowiednie dla żywienia ludzi i zwierząt.

Od końca poprzedniego wieku w glebach wielu krajów świata, w tym też w niektórych rejonach Polski, pojawia się problem narastającego deficytu siarki (10, 27, 36, 37), której obecność jest bezwzględnie potrzebna do pełnej realizacji cyklu życiowego rośliny (17). Uważa się wręcz, że deficyt siarki jest najbardziej znaczącym stresem pokarmowym, jaki obecnie występuje na całym świecie (3). W tej sytuacji podejmowane są prace w celu poznania zasobności gleb w ten składnik oraz przyczyn jego niedoboru. Prowadzi się również badania dotyczące roli siarki w kształtowaniu wielkości i jakości plonu roślin uprawnych. Działania te, uwzględniające zapotrzebowanie danej rośliny na ten składnik i jej oczekiwany plon, mają być pomocne przy ustalaniu aktualnych zaleceń nawozowych.

Niniejsza praca ma charakter przeglądowy, przedstawiono w niej rolę siarki w uprawie roślin, jej aktualną zawartość w glebach Polski i bilans dla roślin uprawnych. Celem tych rozważań było przedstawienie perspektyw stosowania nawozów siarkowych na tle warunków, w jakich funkcjonuje obecnie rolnictwo polskie.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Zapotrzebowanie roślin uprawnych na siarkę

Zdaniem De K o k a i in. (5) zapotrzebowanie roślin na siarkę można zdefiniować według formuły „minimalna dawka siarki pobrana i wykorzystana przez rośliny, która jest wystarczająca do uzyskania maksymalnego plonu, jego jakości i kondycji tych roślin”. W krótkiej formie zapotrzebowanie można ująć jako minimalną zawartość siarki w roślinie związaną z maksymalnym plonem, które wyraża się w kg siarki zakułowanej w plonie zebranym z jednostki powierzchni uprawy. W ujęciu fizjologicznym zapotrzebowanie roślin na siarkę można wyrazić jako dopływ siarki potrzebny na gram biomasy rośliny produkowanej w różnych fazach jej cyklu rozwojowego.

Potrzeby pokarmowe roślin względem siarki są zróżnicowane w zależności od gatunku i fazy rozwojowej (4) i wzrastają w następującej kolejności: *Gramineae* < *Leguminosae* < *Brassicaceae* (15). Zapotrzebowanie to wynika między innymi z obecności siarki w wielu substancjach roślinnych, takich jak: białko, glukozytolany, glutation, ferredoksyna, specyficzne olejki eteryczne (np. w cebuli i czosnku) oraz masy osiąganej przez te rośliny. Wielkość zapotrzebowania na siarkę głównych roślin uprawnych w Polsce przedstawiono w tabeli 1. Za wyznacznik potrzeb żywieniowych względem tego składnika uważane jest takie pobranie siarki, które wykazuje zmienność wynikającą z oddziaływania szeregu czynników naturalnych i antropogenicznych. Należy zaznaczyć, iż ilość S obecnej w glukozytolanach kształtuje się w granicach 10% jej całkowitej zawartości w tkankach vegetatywnych. Rośliny krzyżowe mają największe wymagania odnośnie siarki, a rzepak potrzebuje 50-70 kg S · ha⁻¹, bowiem dla wyprodukowania 1 tony nasion zawierających 91% suchej masy potrzebne jest średnio 16 kg tego składnika. W przypadku tej grupy roślin uprawnych wysokie zapotrzebowanie na siarkę tłumaczy się także niską efektywnością jej wewnętrznej wykorzystania oraz relatywnie wysoką pojemnością pobierania siarczaków (37).

Tabela 1

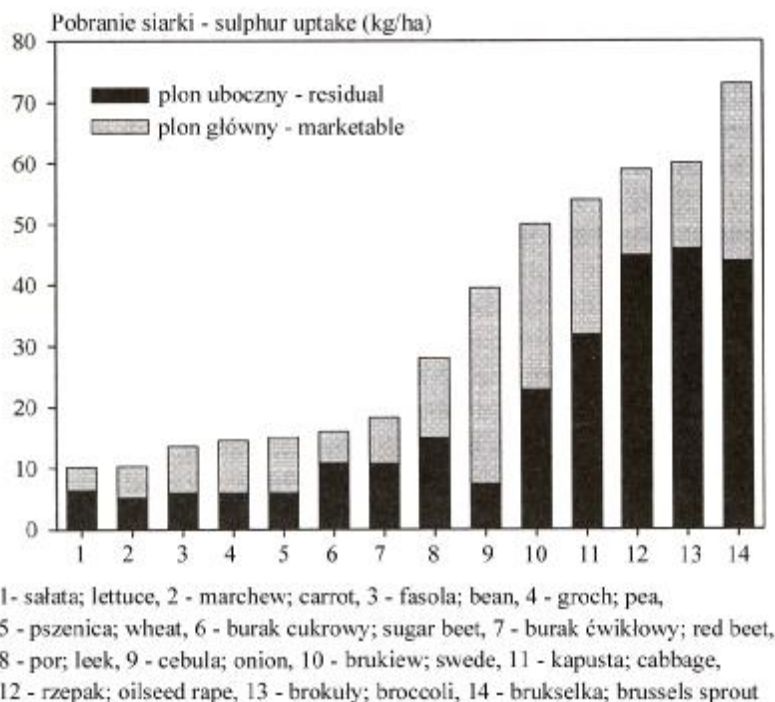
Jednostkowe pobranie siarki przez rośliny uprawne w kg S · t⁻¹s.m. plonu

Roślina	kg S · t ⁻¹	Roślina	kg S · t ⁻¹
Rzepak	20,00	Owies	3,75
Kukurydza	5,00	Jęczmień	3,75
Pszenica	4,50	Siano łąkowe	3,00
Pszenżyto	4,50	Burak cukrowy	0,80
Żyto	4,00	Ziemniak	0,50

Źródło: Grzebisz i Przygocka-Cyna, 2003 (11).

Natomiast zboża, rośliny strączkowe i burak cukrowy wymagają 10-20 kg S · ha⁻¹, co stanowi około 1/10 ich zapotrzebowania na azot (rys. 1). Zdaniem G r z e b i s z a i P r z y g o c k i e j - C y n y (11) pobranie siarki przez rośliny w Polsce jest generalnie małe, co wynika z niższego, w porównaniu z krajami Europy Zachodniej, poziomu

plonów. Stąd średnie i wysokie pobranie S stwierdza się w rejonach Polski charakteryzujących się wysokim poziomem kultury rolnej.



Rys. 1. Pobranie siarki i jej dystrybucja w roślinach uprawnych

Źródło: Zhao i in., 2003 (37).

Ponieważ problem siarki nabiera w rolnictwie polskim nowego znaczenia uzasadnione jest zwracanie uwagi na stan odżywienia roślin uprawnych tym składnikiem. Jest bowiem potwierdzone, że siarka jako składnik niezbędny we wzroście i rozwoju roślin odgrywa ważną rolę w tworzeniu plonu rolniczego nie tylko w przypadku roślin siarkolubnych, takich jak rzepak, ale także ziemniaka, buraka cukrowego, zbóż i traw (37). Właściwe zaopatrzenie roślin w siarkę ma także potwierdzone znaczenie w utrzymaniu wymaganej jakości produktów rolnych (23, 27). Siarka wchodząca w skład wielu związków chemicznych w roślinie (glutation, glukozynolany, fitoaleksyny, sulfolipidy i in.) działa ochronnie w warunkach wystąpienia stresów biotycznych, tj. ataku choroby i szkodnika (1, 16, 28) oraz abiotycznych, czyli suszy, chłodu i nadmiaru metali ciężkich (18, 34). Odpowiedni poziom dostępności siarki w środowisku pozwala efektywnie wykorzystywać składniki pokarmowe (25), zwłaszcza azot, z którym związana jest na poziomie metabolicznym (2). F o t y m a (7) wykazała, że wykorzystanie azotu z nawozów przez rzepak, kukurydzę oraz pszenicę jarą i ozimą było większe w warunkach nawożenia siarką niż bez stosowania tego składnika. Również efektywność

rolnicza i fizjologiczna azotu zastosowanego w uprawie wymienionych roślin była większa w obiektach, w których stosowano nawozy siarkowe.

Zasobność gleb Polski w siarkę

Mimo długotrwałego oddziaływania zanieczyszczeń atmosferycznych w Polsce (w latach 70. i 80. ubiegłego wieku) około 75% gleb w połowie lat 90. znajdowało się w klasie zawartości naturalnej, czyli wykazywało niską zasobność w siarkę przyswajalną (20). W prowadzonych ostatnio badaniach w punktach kontrolnych, dających podstawę do oceny stanu gleb gruntów ornyczych oraz ich zanieczyszczenia siarką siarczanową (w porównaniu z danymi z lat 1995 – stan wyjściowy – 2000 i 2005), stwierdzono, iż zawartość S-SO₄ jest mało zróżnicowana w latach badań, a zaistniałe zmiany mieszczą się praktycznie w ramach jednej klasy (33). Oznacza to, że gleby użytkowane rolniczo w Polsce w dalszym ciągu (w większości przypadków) mają niską zawartość siarki siarczanowej. Wynika to ze zmniejszonego dopływu siarki z gazowych zanieczyszczeń atmosfery, które w wieku ubiegłym były głównym źródłem nadmiaru siarki w glebach uprawnych (22). Badania prowadzone w ostatnich latach w Instytucie Badań Leśnictwa wykazały, że suma opadu mokrego i suchego, średnio dla obszaru Polski, zawierała się przedziale 2,0-12,7 kg S · ha⁻¹ (31). Zatem wyniki te potwierdzają, że opad siarki ulega systematycznemu zmniejszeniu, bowiem w ciągu 4 lat (2000–2003) wielkość opadu zmniejszyła się w punktach pomiarowych o ponad połowę, a w niektórych rejonach kraju stwierdzono jeszcze większą redukcję. Nadal największy opad siarki notowany jest na Śląsku, a najmniejszy w województwach wschodnich.

Regulacje prawne UE

Od stycznia 2008 roku państwa członkowskie UE obowiązuje dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2001/80/WE z dnia 23.10.2001 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych obiektów energetycznego spalania paliw (14). Zawiera ona regulacje dla źródeł spalania paliw, których nominalna moc cieplna jest równa lub większa od 50 MW. W traktacie o przystąpieniu do UE dla Polski zostały określone limity emisji SO₂ dla źródeł objętych ww. dyrektywą. Wynoszą one: 454 000, 426 000 i 358 000 Mg, odpowiednio dla lat 2008, 2010 i 2012. Ponieważ dane o emisji z lat poprzednich przekraczają limity wyznaczone dla naszego kraju rząd RP uzyskał zgodę na niestosowanie norm dyrektywy do 2015 r. Jednocześnie negocjacje akcesyjne prowadzone z Komisją Europejską w sprawie ograniczenia emisji (w tym emisji SO₂ do powietrza) z dużych źródeł spalania paliw, związane z wdrożeniem Dyrektywy 2001/80/WE, narzuciły na przemysł w Polsce konieczność zainwestowania do roku 2016 znacznych sum pieniędzy w instalacje, których celem jest redukcja emisji tych gazów do atmosfery. Znaczący to, że nastąpi dalsze ograniczenie ilości gazowych związków siarki i ich oddziaływania na gleby i rośliny.

Bilans siarki dla roślin uprawnych

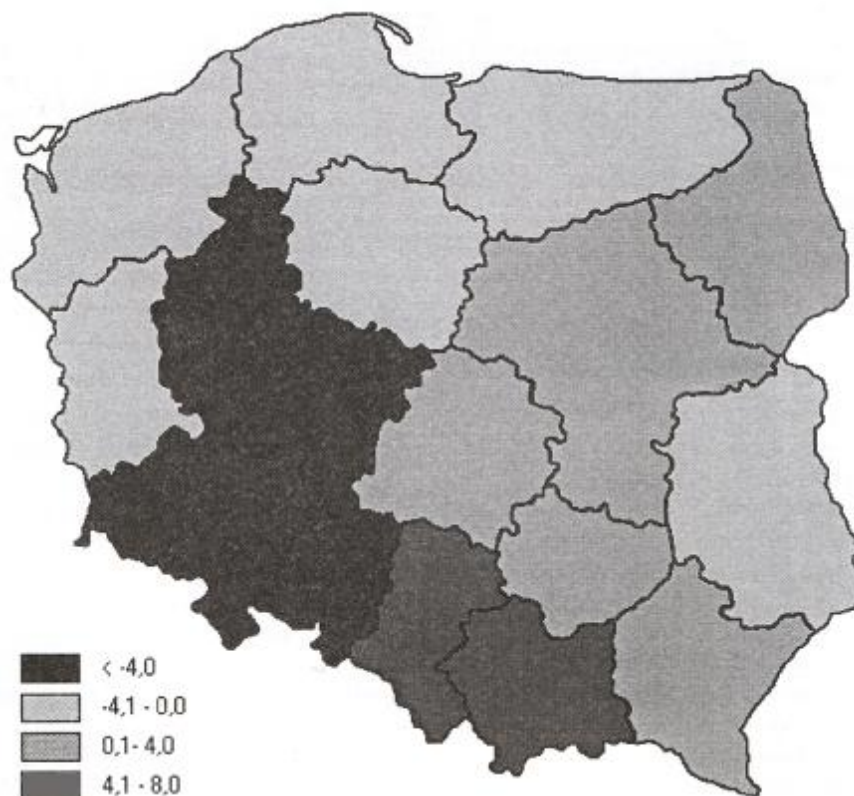
Przedstawiona sytuacja ma odbicie w bilansie siarki dla wybranych grup roślin uprawnych (tab. 2), który jednoznacznie wskazuje, że w Polsce już teraz występują obszary z niedoborem tego pierwiastka (31). Dla każdej badanej rośliny zbożowej występuje bardzo duże zróżnicowanie regionalne ujemnego bilansu siarki. Jednakże najsilniej na niedobór tego pierwiastka w środowisku zareagowała kukurydza, co spowodowane było m.in. bardzo wysokimi plonami tej rośliny. Pod względem, średniego dla Polski, ujemnego bilansu siarki badane rośliny zbożowe można uszeregować w następującej kolejności: kukurydza na ziarno > żyto > pszenżyto > pszenica ozima > jęczmień jary > owies. Bilans siarki w przypadku roślin okopowych był w większym stopniu ujemny. Największe ujemne saldo siarki w uprawie rzepaku ozimego (przekraczające $80 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) stwierdzono w województwach warmińsko-mazurskim i podkarpackim, a w przypadku roślin motylkowatych – w województwie zachodniopomorskim. Natomiast w województwach wielkopolskim i podkarpackim stwierdzono bilans dodatni. Znacznie mniejszy, ale również ujemny, bilans siarki ($< -4 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zachodnich regionach kraju, zwłaszcza na Dolnym Śląsku, w woj. opolskim i w Wielkopolsce stwierdzili również Grzebiś i Przygocka-Cyna (11); (rys. 2). Zdaniem tych autorów wynika on głównie z intensywnej produkcji rolnej, a także małej produkcji obornika oraz dużego udziału rzepaku w strukturze zasiewów. Dodatni bilans siarki stwierdzono zaś w regionach Polski centralnej i wschodniej, na Śląsku i w woj. mazowieckim. Jako przyczyny tego stanu upatruje się w dużej emisji siarki (Śląsk), intensywnych opadach atmosferycznych, a wraz z nimi akumulacji S w glebie (wschód Polski) i niskich plonach (woj. mazowieckie). Pozostałe regiony, dla których stwierdzono dodatni bilans siarki, charakteryzują się niskim poziomem produkcji roślinnej, a więc także niskim zapotrzebowaniem na ten składnik. Pobranie siarki przez rośliny uprawne w Polsce do $9 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie prowadzi do ujemnego bilansu tego składnika, co oznacza, że bilans ujemny nie występuje do poziomu $2,25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ziarna (11). Jednakże tak niski poziom plonów nie zabezpiecza opłacalności produkcji roślinnej, a produkcja na wyższym poziomie będzie się łączyć ze znacznym niedoborem S.

Tabela 2

Średni bilans siarki dla wybranych roślin uprawnych w Polsce
w latach 2000–2003

Roślina uprawna	kg S · ha ⁻¹	Roślina uprawna	kg S · ha ⁻¹
Rzepak ozimy	-49,40	Jęczmień jary	-8,51
Kukurydza	-39,10	Burak cukrowy	-43,60
Pszenica ozima	-11,45	Ziemniak wczesny	-46,60
Pszenżyto	-13,10	Ziemniak późny	-56,60
Żyto	-13,52	Łubin żółty	-4,80
Owies	-7,27	Koniczyna czerwona	-45,50

Źródło: Szulc, 2008 (31).



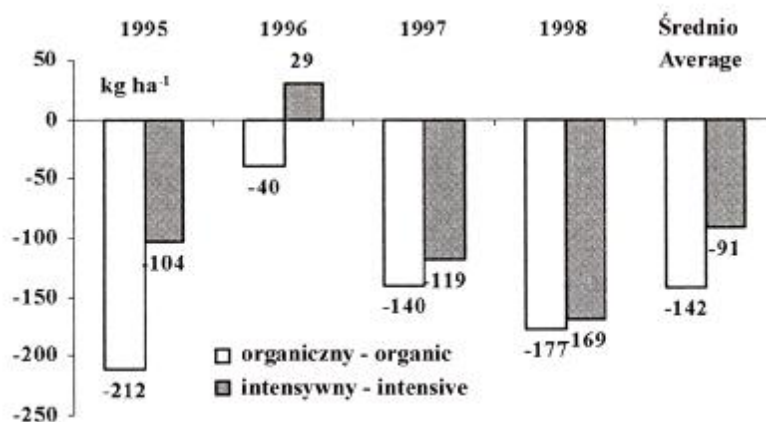
Rys. 2. Saldo bilansowe siarki w produkcji roślinnej w Polsce ($\text{kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Źródło: Grzebisz i Przygocka-Cyna, 2003 (11).

Grzebisz i Przygocka-Cyna (11) przedstawiają bilans siarki na powierzchni pola obliczony dla dwu wariantów: klasycznego – produkcji roślinnej z obornikiem w zmianowaniu i bez obornika. W pierwszym z nich średnioroczne zapotrzebowanie roślin na siarkę może kształtować się na poziomie 20, a w drugim 27-30 $\text{kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Przyczyny deficytu siarki w warunkach Polski

Zdaniem Szulca (31) bilans siarki (przeprowadzony na dużej liczbie doświadczeń polowych) wskazuje, że w intensywnej uprawie głównych roślin w Polsce należy liczyć się z niedoborami tego pierwiastka, co może być istotnym czynnikiem ograniczającym plony. Wprawdzie w Stacjach Doświadczalnych COBORU uzyskuje się plony znacznie wyższe od średnich w kraju, więc w przeciętnych warunkach produkcyjnych problem siarki może być mniejszy, ale i tak niedobory tego składnika wystąpią. Z kolei badania prowadzone na Litwie (12) wykazały występowanie ujemnego bilansu siarki bez względu na system produkcji (rys. 3), aczkolwiek średnie wartości



Rys. 3. Wpływ systemów uprawy na bilans siarki

Źródło: Guzys i Aksomaitiene, 2004 (12).

bilansu dla systemu organicznego ($-142 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) przewyższyły wartości dla systemu intensywnego ($-91 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zarówno Grzebisz i Przygocka-Cynna (11), jak i Szulc (31) jako przyczynę stwierdzonych niedoborów siarki podają, m.in. wysokie plony, brak nawożenia obornikiem, stosowanie nawozów bezsiarkowych, jak też duży udział rzepaku w strukturze zasiewu. Należy dodać, że w powierzchni UR Polski znaczny udział mają gleby zakwaszone. Sing i in. (za 32) uważają, iż obniżenie pH gleby prowadzi do wzrostu sorpcji jonów siarczanowych przez cząsteczki fazy stałej gleby i ograniczenia dostępności siarki dla roślin. W Polsce przeważają gleby lekkie, które z natury są często bardziej zakwaszone i jednocześnie uboższe w ten składnik. Dodatkowo deficyt siarki może wystąpić przy częstej uprawie roślin pobierających duże ilości S oraz znacznego oddalenia upraw od terenów przemysłowych. Badania Spychaj-Fabis i in. (29) także potwierdzają istnienie w glebach Polski naturalnej (czyli niskiej) zawartości siarki, na których należy się spodziewać wystąpienia ujemnego bilansu siarki, szczególnie przy uprawie roślin o wysokich potrzebach pokarmowych w stosunku do tego składnika. Aby zapobiegać wystąpieniu deficytu siarki na obszarze analizowanym przez ww. autorów występuje potrzeba podwyższenia pH gleb. Może to jednak doprowadzić do spadku i tak niskiej zawartości siarki przyswajalnej, wykazano bowiem, że wapnowanie powodowało obniżenie zawartości siarki w glebie i w wodzie glebowej (12). Szulc i in. (32) uważają, że wapnowanie zwiększa w glebie zawartość siarki ogółem, zmniejszając jednocześnie zawartość siarki siarczanowej, czyli frakcji bezpośrednio pobieranej przez rośliny. Zatem problem dostępności dla roślin siarki siarczanowej może wystąpić zarówno w przypadku gleb o niskim pH, jak też po zastosowaniu wapnowania. Zdaniem cytowanych autorów sposób uprawy gleby także modyfikuje zawartość siarki ogółem, a także siarki organicznej i siarczanowej, głównie poprzez zmianę zawartości substancji organicznej w glebie. Ograniczenia w uprawie gleby powodują wzrost zawartości wszystkich form siarki.

Nawożenie roślin siarką

Nawozy naturalne jako źródło siarki dla roślin

Zarówno obornik, jak i gnojowica są bardzo zróżnicowaną formą nawozów naturalnych, a ich skład jest wypadkową wielu czynników, tj. gatunku zwierzęcia, składu pożywienia, systemu jego produkcji, jak również czasu i warunków składowania (6). Wymienione czynniki wpływają również na zawartość siarki w tych nawozach; kształtuje się ona w przedziale pomiędzy 0,15-0,7 kg siarki w m³ gnojowicy i około 1 kg w tonie obornika. Ważnym zagadnieniem jest udział siarki z gnojowicy w zaopatrzeniu roślin w ten składnik. Jako średnią wartość dla gnojowicy bydłowej przyjęto 0,35 kg siarki całkowitej w m³, co oznacza, że stosując 50 m³ gnojowicy dostarczymy do gleby 17,5 kg S · ha⁻¹. Ta ilość powinna teoretycznie zabezpieczyć zapotrzebowanie niektórych roślin na siarkę (np. zbóż), jednakże nie może służyć jako jedyne jej źródło. Podobnie sytuacja wygląda w odniesieniu do obornika. Dostępne badania wskazują, że chociaż zawiera on znaczne ilości S, może mieć jednocześnie bardzo małą wartość jako źródło siarczanów dla roślin (6). Badania E r i k s e n a i in. (za 21) wskazują, że siarka całkowita obecna w oborniku zawiera różne składniki siarkowe: 20% to forma siarczkowa, a 40% organiczna, zaś 40% stanowią organiczne i nieorganiczne siarczany. Jednakże bezpośrednio po zastosowaniu tylko S nieorganiczna w formie siarczanów jest natychmiast dostępna dla roślin. Forma siarczkowa ulega ulotnieniu lub związaniu z metalami, a forma organiczna wymaga zaistnienia procesu mineralizacji, aby mogła być dostępna dla roślin. W efekcie tych procesów tylko 5-7% siarki obecnej w oborniku absorbowane jest przez rośliny. Dodatkowo składowanie obornika w warunkach beztlenowych prowadzi do ryzyka przemian mikrobiologicznych siarczanów w siarkę organiczną i składniki gazowe, które mogą być tracone w wyniku ulatniania. W tej sytuacji dostępność S dla roślin w roku aplikacji tego nawozu może być zbyt mała, aby można ją było brać pod uwagę w praktyce nawożenia.

Inne materiały organiczne, tj. osady ściekowe, nawozy zielone lub komposty mogą być także stosowane na obszarach rolniczych, a dostępność dla roślin siarki związanej organicznie w tych materiałach zależy od wskaźnika mineralizacji (6).

Można zatem stwierdzić, że stosowanie samych nawozów naturalnych nie zabezpiecza roślin przed deficytem siarki. Ze względu na niską dostępność siarki z tych źródeł w niektórych krajach europejskich zaleca się, aby nie zmniejszać nawożenia mineralnego w roku ich stosowania.

Nawozy mineralne

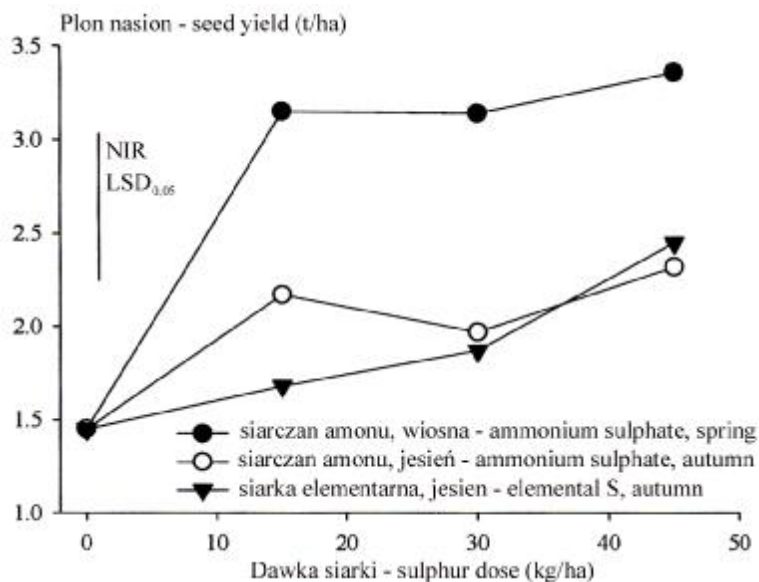
W warunkach zagrożenia upraw niedoborem siarki należy koniecznie uwzględnić ten składnik w planie nawozowym gospodarstwa. Zdaniem wielu badaczy jedynym rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie nawozów mineralnych zawierających siarkę (12, 27, 37). Decyzja o wyborze formy nawozu i jego dawki powinna być poprzedzona znajomością aktualnej zasobności gleby w składniki pokarmowe i jej od-

czynu, należy też uwzględnić roślinę przedplonową i następczą oraz przewidywany poziom nawożenia pozostałymi składnikami. Należy pamiętać, iż dawka siarki nie powinna być zbyt duża, ponieważ często powoduje obniżkę plonów i pogorszenie ich jakości (13), a dodatkowo wpływa na wzrost kosztów związanych z zakupem i wysiewem większej ilości nawozu. Znana jest zależność, że zarówno niedobór, jak też jej nadmiar mają negatywne oddziaływanie na rośliny. Generalnie przyjmuje się, że korzystniejszego oddziaływania siarki należy się spodziewać w przypadku gleb ubogich w ten składnik i uprawy roślin o dużym na nią zapotrzebowaniu. Ponadto efektywność zastosowanej siarki wzrasta w warunkach odpowiedniego nawożenia azotem. Ustalenie dawki siarki pod rośliny uprawy polowej nie jest proste. G r z e b i s z (9) proponuje, aby na gleby ze stwierdzonym niedoborem S jej dawka stanowiła: w przypadku zbóż 1/5, rzepaku 2/5, kukurydzy 1/6, a buraka 1/3 dawki azotu. W a ł k o w s k i i in. (35) stwierdzają, że dawka siarki pod rzepak ozimy powinna stanowić 15-20% całkowitej dawki azotu.

Dawkę nawozu siarkowego można orientacyjnie ustalić na podstawie wymagań pokarmowych rośliny i strat S w wyniku wymywania. Trzeba jednak pamiętać, że wykorzystanie tego składnika z nawozów mineralnych kształtuje się na ogół na poziomie 30-60%, a tylko w niektórych przypadkach wynosi 50-75% (19). Należy także podkreślić, że na efektywność nawożenia siarką wpływa znacząco czynnik pogodowy, który kształtuje dynamikę wzrostu i rozwoju roślin oraz zawartość i pobranie siarki (31). Mniej efektywne działanie siarki wynika w dużym stopniu z jej strat. Jednak nawożenie roślin na zapas nawozami siarczanowymi, które są rozpuszczalne w wodzie nie jest wskazane, a gipsem ograniczone do gleb ciężkich i rejonów o niezbyt dużych opadach atmosferycznych. Do zapobiegawczego nawożenia ozimin lub rzepaku należy stosować nawozy zawierające siarkę w formie słabo rozpuszczalnej w wodzie, takie jak superfosfaty proste, najlepiej w postaci granulowanej, aby przedłużyć ich działanie. Natomiast do nawożenia roślin jarych i stosowania pogłównego przydatne są formy siarczanowe (rys. 4).

W okresie wegetacji głównych roślin uprawnych, w sytuacji niebezpieczeństwa wystąpienia lub zaobserwowania symptomów deficytu siarki, można pobrać części wskaźnikowe do oceny jej zawartości, opierając się na wyznaczonych dla nich optymalnych zawartościach (tab. 3).

Wartości kształtujące się poniżej podanych w tabeli 3 zawartości optymalnych wskazują na konieczność wykonania zabiegu dolistnego dokarmiania roślin. Badania wykazały, że siarka jest także bardzo dobrze pobierana przez zielone części rośliny, nawet do fazy poprzedzającej kwitnienie. Zabieg dolistnego dokarmiania siarką cechuje się wysoką efektywnością, co przekłada się na uruchomienie metabolizmu i w efekcie końcowym produkcję nasion (8, 24).



Rys. 4. Reakcja rzepaku ozimego na różne formy i terminy stosowania nawozów siarkowych
 Źródło: Zhao i in., 2003 (37).

Podsumowanie

Celem uprawy roślin w zintegrowanym systemie produkcji jest uzyskiwanie wysokich plonów z zachowaniem pożądanej jakości oraz utrzymywanie żyzności gleby. Stwierdzone niedobry siarki wskazują, że składnik ten powinien być traktowany jako czynnik ograniczający realizację tych celów. Aby zapobiec tej sytuacji należy uwzględnić siarkę w planach nawożenia, opierając się na znajomości jej zawartości w glebie, potrzebach roślin uprawnych oraz przemianach tego składnika w glebie i jego stratach w zależności od przebiegu pogody. Ważne jest także uzależnienie dawki siarki od innych składników pokarmowych, a zwłaszcza wielkości dawki azotu.

Literatura

1. Bloem E., Haneklaus S., Schnug E.: Significance of sulfur compounds in the protection of plants against pest and diseases. *J. Plant Nutr.*, 2005, **28(5)**: 763-784.
2. Brunold Ch., Von Ballmoos P., Hesse H., Fell D., Kopriva S.: Interactions between sulfur, nitrogen and carbon metabolism. In: *Sulfur transport and assimilation in plants*. J. C. Davidian et al. (Eds.). Backhuys Publisher, Leiden, The Netherlands, 2003: 45-56.
3. Ceccotti S. P., Messick D.: A global review of crop requirements, supply and environmental impact on nutrient sulphur balance. In: *Sulphur metabolism in higher plants*. W. J. Cram et al. (Eds.). Backhuys Publisher, Leiden, The Netherlands, 1997: 155-163.
4. De Kok L. J., Castro A., Durenkamp M., Koralewska A., Posthumus F. S., Stuvier C. E. E., Yang L., Stulen I.: Pathways of plant sulfur uptake and metabolism – an overview. *Landbauforschung Volkenrode, Special Issue*, 2005, **283**: 5-13.

5. De Kok L. J., Westerman S., Stuvier C. E. E., Weidner W., Stulen I., Grill D.: Interaction between atmospheric hydrogen sulfide deposition and pedospheric sulfate nutrition in *Brassica oleracea* L. *Phyton*, 2002, **42(3)**: 35-44.
6. Eriksen J.: Organic manures as sources of fertilizer sulphur. *Naw. Nawoż.*, 2003, **3(16)**: 52-70.
7. Fotyma E.: Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. *Naw. Nawoż.*, 2003, **4(17)**: 117-136.
8. Garcia del Moral L. F., de la Morena I., Ramos J. M.: Effects of nitrogen and foliar sulfur interaction on grain yield and yield components in barley. *J. Agronomy Crop Sci.*, 1999, **183**: 287-295.
9. Grzebiś W.: Czy nawożenie siarką jest już konieczne? *Top Agrar Polska*, 1997, **1**: 20-23.
10. Grzebiś W., Fotyma E.: Ocena odżywienia siarką rzepaku ozimego uprawianego w północno-zachodniej Polsce. *Rośliny Oleiste*, 1996, **17**: 275-280.
11. Grzebiś W., Przygocka-Cyna K.: Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Naw. Nawoż.*, 2003, **4(17)**: 64-77.
12. Guzyś S., Aksomaitienė R.: Sulphur migration and balance in limed soils of western Lithuania under the conditions of organic and intensive cropping systems. *Naw. Nawoż.*, 2004, **1(18)**: 17-30.
13. Jankowski K., Budzyński W., Szymanowski A.: Effect of sulfur on the quality of winter rape seeds. *J. Elementol.*, 2008, **13(4)**: 521-534.
14. Jaworski W.: Koncepcja realizacji wymagań Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2001/80/WE w sprawie ograniczeń emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza. http://www.rc.com.pl/pdf/Wojciech_Jaworski.pdf
15. Klikocka H.: Sulphur status in environment. *J. Elementol.*, 2005, **10(3)**: 625-643.
16. Klikocka H., Haneklaus S., Bloem E., Schnug E.: Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. *J. Plant Nutr.*, 2005, **28(5)**: 819-834.
17. Lewak S., Kopcewicz J.: Fizjologia roślin. Wprowadzenie. PWN Warszawa, 2009.
18. Levitt J., Sullivan Ch. Y., Johansson N. O., Pettit R. M.: Sulphydryls – a new factor in frost resistance. I. Changes in SH content during frost hardening. *Plant Physiol.*, 1996, **136**: 611-616.
19. McGrath S. P., Zhao F. J.: Sulphur uptake, yield responses and the interaction between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.*, 1996, **126**: 53-62.
20. Motowicka-Terelak T., Terelak H.: Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 1998.
21. Pedersen C. A., Knudsen L., Schnug E.: Sulphur fertilization. In: Sulphur in agroecosystems. E. Schnug (Ed.). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1998: 115-134.
22. Podlesna A.: Air pollution by sulfur dioxide in Poland – impact on agriculture. *Phyton*, 2002, **42(3)**: 157-163.
23. Podlesna A.: Nawożenie siarką jako czynnik kształtujący metabolizm roślin uprawnych i jakość produktów rolnych. *Pam. Puł.*, 2005, **139**: 161-174.
24. Podlesna A.: Wzrost, rozwój i plonowanie odmian rzepaku ozimego w zależności od nawożenia siarką. *Naw. Nawoż.*, 2006, **1(26)**: 157-170.
25. Podlesna A.: Wpływ doglebowego i dolistnego stosowania siarki na plon i skład mineralny roślin rzepaku ozimego. *Ann. UMCS, E.*, 2009, **64(1)**: 68-75.
26. Podlesna A., Strobel W.: Wpływ nawożenia siarką i azotem na zawartość tłuszczu i białka w nasionach rzepaku ozimego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2009, **542(1)**: 373-379.
27. Schnug E.: Significance of sulphur for the quality of domesticated plants. In: Sulphur metabolism in higher plants. W. J. Cram et al. (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 1997: 109-130.
28. Schnug E., Ceynowa J.: Phytopathological aspects of glucosinolates in oilseed rape. *J. Agron. Crop Sci.*, 1990, **165**: 319-328.

29. Spychaj-Fabisiak E., Długosz J., Koper J.: Przestrzenne zróżnicowanie zawartości różnych form siarki w poziomie powierzchniowym gleb wybranego pola uprawnego na Równinie Sępopolskiej. *Naw. Nawoż.*, 2004, **1(18)**: 7-16.
30. Sullivan P.: Sustainable soil management. www.attra.ncat.org
31. Szulc W.: Potrzeby nawożenia roślin uprawnych siarką oraz metody ich wyznaczania. *Rozprawy i Naukowe Monografie, SGGW Warszawa*, 2008, **332**.
32. Szulc W., Rutkowska B., Łabędowicz J.: Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby. *Ann. UMCS, E*, 2004, **59(1)**: 55-62.
33. Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz.: Ocena zanieczyszczenia gleb siarką metodą IUNG. W: *Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005–2007. Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa 2008: 121-122.
34. Tukendorf A.: Białka i peptydy wiążące metale ciężkie. *Post. Biochem*, 1998, **35**:141-153.
35. Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Krzymański J., Mrówczyński M., Korbas M., Paradowski A.: Rzepak ozimy. *IHAR Poznań*, 2007/2008.
36. Wielebski F.: Aktualne problemy nawożenia rzepaku w Polsce. W: *Zbilansowane nawożenie rzepaku*. W. Grzebisz (Red.), *AR Poznań*, 2000: 261-276.
37. Zhao F.J., McGrath S.P., Blade-Kalf M.M.A., Link A., Tucker M.: Crop responses to sulfur fertilization in Europe. *Naw. Nawoż.*, 2003, **3(16)**: 26-51.

Adres do korespondencji:

*dr Anna Podleśna
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81)886-34-21, w. 251
e-mail: ap@iung.pulawy.pl*