

STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB

ZESZYT 16

2009

Anna Podleśna*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*ELEMENTY WSPOMAGANIA DECYZJI W TWORZENIU PLANU
NAWOŻENIA ROŚLIN SIARKĄ***Wstęp**

Siarka, obok azotu, fosforu i potasu, jest jednym z głównych składników pokarmowych niezbędnych dla normalnego wzrostu roślin (20). Nieznaczny niedobór siarki często pozostaje niezauważony, ale niska jej zawartość w glebach prowadzi do wielorakich zmian w metabolizmie roślin uprawnych. Objawiają się one często deformacją roślin i w konsekwencji prowadzą do spadku plonów (22). Natomiast zbilansowane nawożenie, uwzględniające siarkę, wpływa na utrzymanie prawidłowego metabolizmu, w tym właściwego stosunku N : S, co warunkuje uzyskanie odpowiednich plonów i korzystnie oddziałuje na ich jakość. Pozytywne oddziaływanie nawożenia siarką na cechy jakościowe stwierdzono w uprawie wielu roślin (21), w tym rzepaku (9), pszenicy (23), ziemniaka (11), roślin strączkowych (16), kukurydzy (1), traw (10). Rośliny optymalnie zaopatrzone w ten składnik odznaczają się również większą odpornością na stresy biotyczne, tj. występowanie chorób i szkodników (13, 24) i abiotyczne – susza, wysoka temperatura lub chłód (26).

Przedstawione w skrócie fakty świadczą o ważnej roli siarki jako składnika pokarmowego roślin uprawnych, który powinien być uwzględniany przy planowaniu ich nawożenia. Przystępując do ustalenia dawki, formy oraz terminu stosowania siarki należy uwzględnić przede wszystkim zróżnicowane zapotrzebowanie roślin uprawnych na siarkę, zawartość form siarki w glebach użytkowanych rolniczo oraz przemiany, którym podlegają, a także rodzaje nawozów mineralnych i naturalnych zawierających ten pierwiastek. Złożoność tych procesów wymaga szerszego omówienia.

Zapotrzebowanie roślin na siarkę

Potrzeby pokarmowe w stosunku do siarki zależą od gatunku rośliny oraz wielkości przewidywanego plonu. Pod względem wymagań w stosunku do siarki rośliny uprawne można podzielić na 3 grupy (25):

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.9 w programie wieloletnim IUNG - PIB

- Rośliny o bardzo dużym zapotrzebowaniu na siarkę, pobierające 40-80 kg S · ha⁻¹ (rzepak, kapusta, gorczyca, rzodkiew, rzepa, czosnek, cebula).
- Rośliny o dużym zapotrzebowaniu na siarkę, pobierające 30-40 kg S · ha⁻¹. Zalicza się tu rośliny motylkowate, a zwłaszcza lucernę i koniczynę. Stosunkowo wysokie wymagania tych roślin w stosunku do siarki wynikają z symbiozy z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny oraz z produkcji dużych ilości białka. Do tej grupy roślin należy także kukurydza, potrzebująca dużo siarki ze względu na tworzenie znacznej ilości biomasy.
- Rośliny o stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na siarkę, pobierające 15-25 kg S · ha⁻¹ – trawy łąkowe i pastwiskowe, zboża oraz ziemniak.

Zasobność gleb Polski w siarkę

Pokrywa glebowa Polski jest zróżnicowana pod względem właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych (17). W naszych warunkach glebowo-klimatycznych podstawowym czynnikiem decydującym o zasobności gleb w siarkę jest zawartość w nich materii organicznej. Gleby zasobne w materię organiczną zawierają znacznie więcej tego pierwiastka niż gleby mineralne. Przeważające w Polsce gleby piaskowe, jako utwory gruboziarniste, są z natury uboższe w składniki biologicznie czynne, w tym w siarkę, niż gleby wytworzone z glin, pyłów i ilów.

Oceny stanu zawartości siarki w glebach oraz zaopatrzenia roślin w ten składnik dokonuje się uwzględniając trzy formy występowania tego pierwiastka: siarkę ogólną, siarkę organiczną i siarkę siarczanową (17).

Siarka ogółem (S_{og}) – to całkowita zawartość organicznych i mineralnych związków S występujących w glebie. Całkowitą zawartość siarki w glebach determinują fizyczne i chemiczne właściwości gleby, klimat, roślinność i użytkowanie rolnicze (15). Kombinacja tych czynników wpływa na znaczne zróżnicowanie zawartości siarki całkowitej w glebach. Z badań prowadzonych przez Motowicką-Terelak i Terelak (17) wynika, że większość gleb mineralnych Polski odznacza się niską zawartością siarki ogółem. Jako zawartość średnią przyjmuje się wartość 15-20 mg S/100 g gleby. Najwięcej siarki zawierają rędziny i mady oraz gleby wytworzone z glin ciężkich i średnich. Z reguły poziomy powierzchniowe zawierają więcej siarki niż poziomy głębsze, a ilość tego pierwiastka systematycznie maleje wraz z głębokością profilu glebowego. Wynika to z zawartości glebowej materii organicznej, która jest podstawowym źródłem S oraz emisji związków siarki z zanieczyszczeń atmosferycznych w latach 80. ubiegłego wieku.

Siarka organiczna (S_{org}) jest dominującą formą tego składnika w glebach Polski. Jej udział w S ogółem w poziomach próchnicznych gleb mineralnych wynosi 50-80%, a w glebach organicznych dochodzi do 97% (14). Siarka organiczna w glebie jest składnikiem komórek żywych organizmów, częściowo rozłożonych roślin, zwierząt i pozostałości mikrobiologicznych oraz złożonych struktur cząsteczek związków organicznych, głównie połączeń z węglem o typie wiązań C-S, wchodzących w skład próchn-

nicy. Koncentracja siarki organicznej w glebie zmniejsza się wraz z głębokością, ponieważ spada zawartość materii organicznej (15). Materia organiczna w glebie, a wraz z nią związki siarki podlegają ciągłym zmianom w wyniku równocześnie przebiegających procesów immobilizacji i mineralizacji:

Immobilizacja siarki zwykle odnosi się do procesów, w których nieorganiczna forma siarki (siarczanowa) włączana jest w związki organiczne w wyniku reakcji biologicznych. To może oddziaływać na dostępność S dla roślin w krótkim czasie, bowiem składniki zawarte w materii organicznej nie są łatwo pobierane przez rośliny. Okazuje się, że immobilizacja siarczanów w glebie może być znaczna, a potencjał tego procesu wzrasta wraz ze wzrostem zawartości C organicznego i uwilgotnienia gleby.

Mineralizacja jest procesem, w którym substancja organiczna jest rozkładana, co prowadzi do uwalniania się S do formy nieorganicznej. Ilość potencjalnie mineralizowanej siarki organicznej oraz tempo mineralizacji to dwa główne czynniki oddziałujące na dostępność S glebowej dla roślin. Mineralizacja przebiega według kolejności: związki organiczne → produkty rozpadu → siarczany. Aby opisany proces rozkładu związków organicznych mógł zachodzić muszą zaistnieć odpowiednie warunki: udział specyficznych mikroorganizmów, temperatura 10-20°C oraz odpowiednia wilgotność gleby (17, 30). Zdaniem W i e l e b s k i e g o (30) to siarczany powstające w wyniku mineralizacji siarki organicznej stanowią główne źródło siarki dla roślin w okresie wegetacji, a wolne tempo mineralizacji jest często przyczyną niedoboru siarki w okresie wczesnej wiosny. Dochodzi wówczas do sytuacji, w której wegetacja już ruszyła, ale temperatura gleby jest jeszcze za niska, aby nastąpiła mineralizacja materii organicznej uwalniająca ilość siarki zabezpieczającą bardzo szybko rosnące potrzeby roślin na ten pierwiastek.

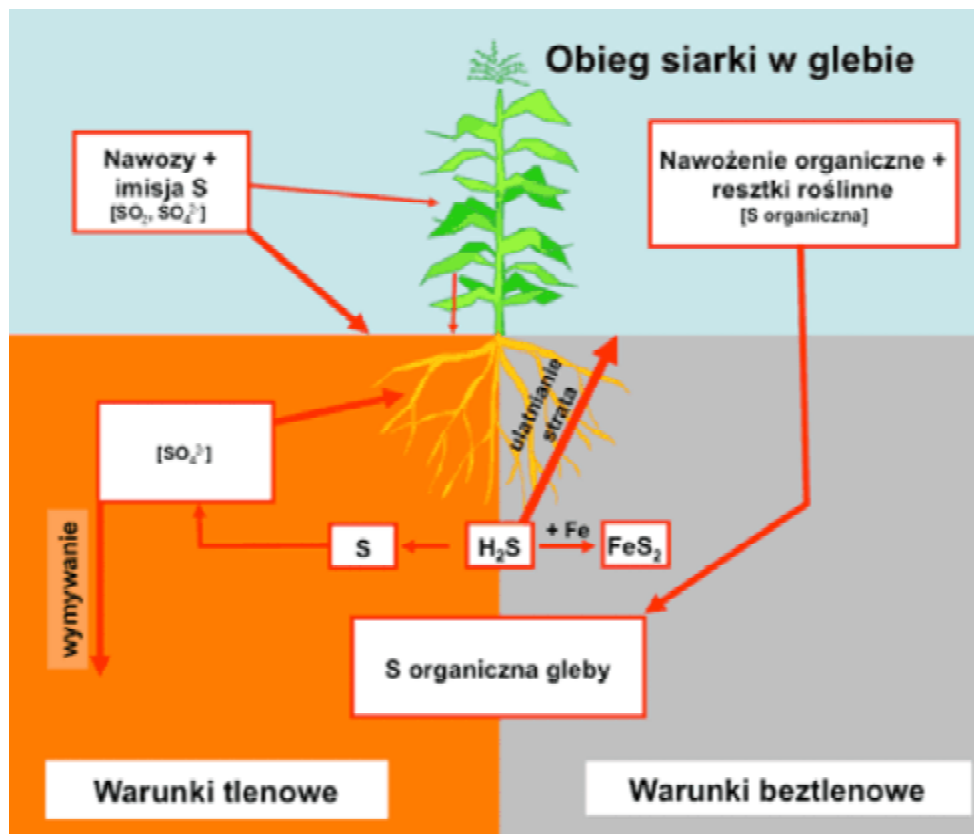
Siarka siarczanowa ($S-SO_4$) jest pierwiastkiem występującym w glebach w formie siarczanów będących produktami tlenowych przemian siarki uwalnianej w procesach wietrzenia skał i mineralizacji substancji organicznej oraz dopływającej do gleb z nawozami, opadami atmosferycznymi i imisją SO_2 (17). Siarczany, ze względu na swoją rozpuszczalność, są bezpośrednim źródłem siarki dla roślin. W warunkach wysokich stężeń stanowią główną przyczynę zakwaszania gleb. Do najuboższych pod względem zawartości siarczanów należą gleby piaszkowe i gliniaste lekkie, natomiast

Tabela 1

Immobilizacja i mineralizacja siarki w glebach w czasie 132-dniowej inkubacji

Czynnik	S organiczna w glebie (mg S · kg ⁻¹)	Immobilizacja	Mineralizacja	Bilans netto
		(mg S · kg ⁻¹ gleby)		
Kontrola	168	4,0 ± 0,09	3,3 ± 0,24	- 0,7
N	198	6,8 ± 0,05	2,9 ± 0,11	- 3,9
NPKSMg	188	5,3 ± 0,36	4,7 ± 0,01	- 0,6
Obornik	517	7,9 ± 0,04	8,5 ± 0,03	+ 0,6
Łąka	484	13,0 ± 0,53	13,9 ± 0,02	+ 0,9

Źródło: Mc Grath S. P. i in., 2003 (15).



Rys. 1. Dynamika siarki w glebie

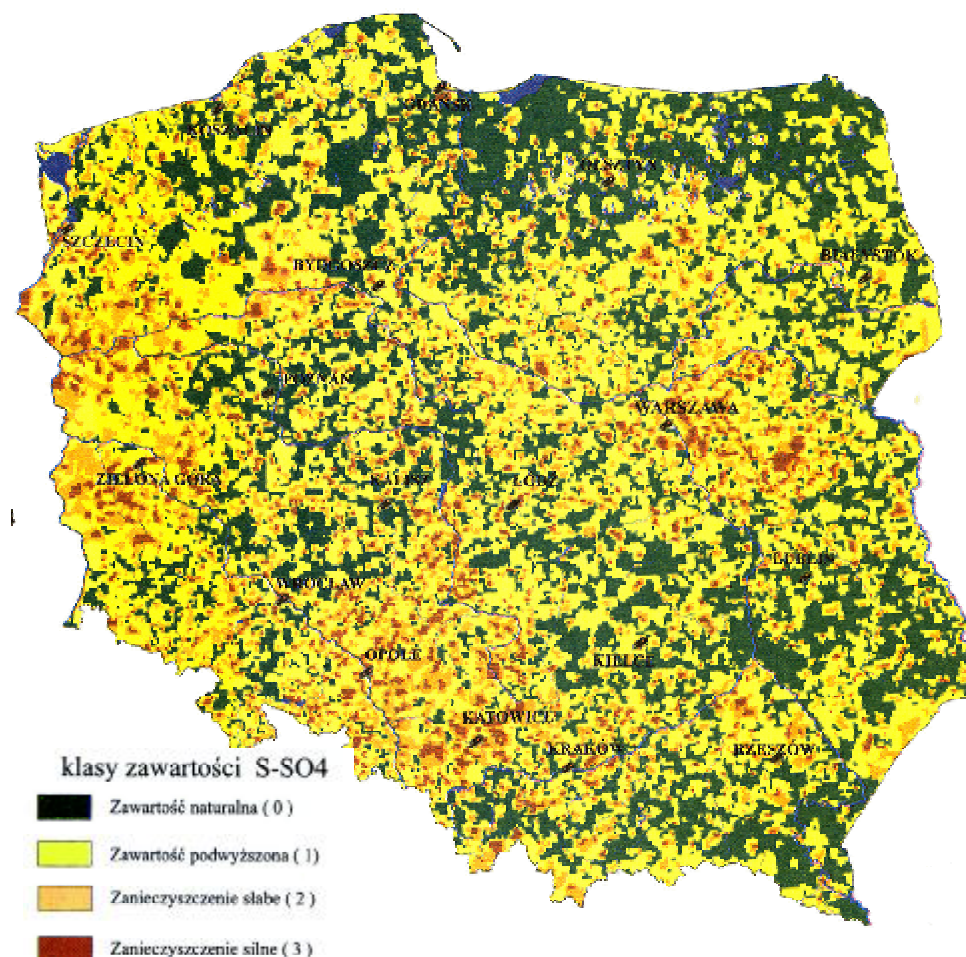
Źródło: [http \(6\)](http://(6)).

najzasobniejsze są gleby wytworzone z glin ciężkich (17). Do gleb średnio zasobnych w siarkę siarczanową należą utwory lessowe, mady i rędziny. Siarczany mogą się akumulować w podglebiu w wyniku ich wymywania z warstwy ornej i większej możliwości adsorpcji przez podglebie oraz stwierdza się je w wodzie gruntowej, przez co mają znaczny udział w zaopatrzeniu roślin w siarkę dostępną (15). H a n e k l a u s i S c h n u g (5) oszacowali w latach 90. ubiegłego wieku, że wody gruntowe mogą dostarczyć w warunkach północnych Niemiec 20-50 kg S · ha⁻¹. Igras (7) stwierdza, że w warunkach Polski wody z drenów i rowów melioracyjnych znajdują się w około 80% w I, a w ponad 10% w II klasie czystości wód powierzchniowych, czyli zawierają odpowiednio poniżej 20 i 20-40 mg · dm⁻³ S-SO₄.

Zawartość siarki w glebach użytkowanych rolniczo

Największe znaczenie w rolnictwie mają siarczany, są one bowiem podstawowym źródłem siarki dla roślin wyższych. Ze względu na to, że większość polskich gleb to

utwory lekkie i średnie (> 60% użytków rolnych), zawierające około 2% próchnicy, a więc nie są one z natury zasobne w siarkę (17). Ponadto w warunkach glebowo-klimatycznych Polski zawartość S-SO₄ jest na ogół niska ze względu na łatwość wymywania siarczanów. Mimo długotrwałego wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych w Polsce w latach 70-80. ubiegłego wieku około 75% gleb w połowie lat 90. znajdowało się w klasie zawartości naturalnej, czyli wykazywało niską zasobność w siarkę przyswajalną (rys. 2). Na podstawie wieloletnich badań Motowicka-Terelak i Terelak opracowali tabelę zawierającą graniczne zawartości siarki w powierzchniowej warstwie gleb, która służy ocenie zasobności danej gleby zarówno w siarkę siarczanową, jak i ogólną. W latach ubiegłych donoszono o niedoborach siarki w glebach niektórych rejonów kraju (30). W ostatnio prowadzonych badaniach, w punktach kontrolnych, mających na celu ocenę stanu właściwości gleb gruntów



Rys. 2. Stan zanieczyszczenia gleb Polski siarką

Źródło: Motowicka-Terelak i Terelak, 1998 (17).

ornych oraz ich zanieczyszczenia m.in. siarką siarczanową (w stosunku do stanu z roku 1995 – stan wyjściowy) w latach 2000 i 2005 stwierdzono, iż zawartość S-SO₄ jest mało zróżnicowana w latach badań, a zaistniałe zmiany mieszczą się praktycznie w jednej klasie (27). Informacja ta jest ważna, oznacza bowiem, że nadal przeważający odsetek gleb użytkowanych rolniczo w Polsce stanowią gleby o niskiej zawartości siarki siarczanowej.

Czynniki wpływające na ubożenie gleb Polski w siarkę

Chociaż do tej pory nie stwierdzono spadku zasobności gleb Polski w siarkę to można przypuszczać, że udział gleb o niskiej zawartości siarki siarczanowej może stopniowo ulegać zwiększeniu. Zmniejszający się stale, od lat 80. ubiegłego wieku, dopływ gazowych związków siarki jako zanieczyszczeń atmosfery (19) oraz nowe zalecenia UE odnośnie dalszych ich redukcji zawarte m.in. w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2001/80/WE spowodują znaczne ograniczenie dopływu siarki z tych źródeł. Ponadto niedoborów tego składnika można spodziewać się w glebach piaszczystych o małej zawartości próchnicy, przy częstej uprawie roślin pobierających duże ilości siarki, braku dostatecznego nawożenia naturalnego oraz w warunkach stosowania bezsiarkowych nawozów mineralnych. Aby poznać zasobność gleb uprawnych w podstawowe składniki pokarmowe oraz ich kwasowość i zawartość próchnicy należy raz na kilka lat wykonywać analizy gleb w uprawnionych do tego celu laboratoriach lub Stacjach Chemiczno-Rolniczych.

Nawożenie roślin uprawnych siarką

Nawozy mineralne

Wybór właściwego nawozu siarkowego i dawki zależną od terminu stosowania, jego właściwości oraz od innych składników pokarmowych towarzyszących siarce (2).

Siarczan amonu należy do najstarszych syntetycznych nawozów azotowo-siarkowych. Chociaż jest to typowy nawóz przedsiewny może być także stosowany jako uzupełnienie siarki i azotu w wiosennej dawce pod rzepak ozimy. Jest to nawóz o powolniejszym, długotrwałym i zakwaszającym działaniu. Należy go zatem stosować na gleby o uregulowanym odczynie i pod rośliny w dobrej kondycji po zimie. Zaleca się, aby po wysiewie nawóz był wymieszany z glebą (siew roślin w szerokiej rozstawie rzędów), co zapobiega stratom amoniaku. Skuteczność działania siarczanu amonu potwierdzają badania T o b o ł y i J a k u b u s (28), zwłaszcza w warunkach gleb o bardzo niskiej zawartości siarki.

Siarczan potasu to wysoko skoncentrowany nawóz, zawierający 50% K₂O i 18% S w formie siarczanowej, który spełnia ważną rolę w nawożeniu roślin. Ze względu na dużą zawartość siarki jest szczególnie przydatny dla roślin o wysokim zapotrzebowaniu na siarkę (np. rzepak, gatunki kapustne, cebula, czosnek) oraz dla roślin wrażli-

wych na obecność chlorków, szczególnie w okresie kiełkowania i początkowego wzrostu (6), takich jak: groch, ziemniak, tytoń oraz niektóre owoce i warzywa. Nawożenie ziemniaka skrobiowego siarczanem potasu powoduje, że transport asymilatów z liści do bulw może odbywać się bez zakłóceń i w efekcie można uzyskać dobre plony oraz wysoką zawartość skrobi. Siarczan potasu przeznaczony jest zarówno do nawożenia podstawowego, jak i pogłównego. Jest to nawóz całkowicie rozpuszczalny w wodzie, dzięki czemu potas i siarka są łatwo przyswajane przez rośliny. W celu uniknięcia strat w stanowiskach narażonych na wyplukiwanie powinien być stosowany wczesną wiosną.

Superfosfat pojedynczy jest ważnym nawozem fosforowym, który dodatkowo zawiera 10-14% siarki i 18-21% wapnia, przez co jest doskonałym źródłem tych trzech składników. Superfosfaty w formie pylistej i granulowanej są typowymi nawozami przedsięwziętymi, nadającymi się pod wszystkie rośliny. Największą efektywność (głównie w odniesieniu do fosforu) uzyskuje się na glebach o odczynie obojętnym i słabo kwaśnym.

Siarczan magnezu (kizeryt – $MgSO_4 \cdot H_2O$ i inne nawozy na bazie siarczanu magnezu) stosowany jest głównie na gleby niewymagające wapnowania. Nawóz ten zawiera S i Mg w formie całkowicie rozpuszczalnej w wodzie, przez co składniki te są szybko pobierane przez rośliny. Na glebach lekkich siarczan magnezu należy wysiewać na wiosnę, natomiast dla stanowisk ubogich w magnez zalecane jest stosowanie jesienią z jednoczesnym przykryciem glebą. Nawozy tego typu mogą być aplikowane same lub w mieszkankach oraz na sucho, jak i w formie płynnej.

Gips (siarczan wapnia) jest najtańszym nawozem zawierającym siarkę i jednocześnie dobrym jej źródłem dla roślin (28). W gipsie siarka występuje w postaci $CaSO_4$, który charakteryzuje się stosunkowo małą rozpuszczalnością w wodzie i przez to uwalnianie z niego siarki dostępnej dla roślin jest powolne. Pomimo że gips jest mniej rozpuszczalny niż siarczan amonu to jednak dostępność siarki dla roślin jest taka sama w obu tych nawozach. Aby zwiększyć wykorzystanie składników gipsu można go stosować po odpowiednim rozdrobieniu.

Siarka elementarna ma dwie główne cechy, które predestynują ją szczególnie do nawożenia użytków zielonych i roślin uprawy polowej. Po pierwsze jest ona najbardziej skoncentrowaną formą siarki, co obniża koszty jej transportu i aplikacji, a po drugie podkreśla się umiarkowaną jej dostępność, ponieważ jest przekształcana w siarczan w ciągu pewnego czasu. Zatem dostępność siarki z tego źródła jest funkcją procesu przekształcania oraz czynników środowiska. Efektywność siarki elementarnej jako nawozu jest regulowana przez wskaźnik jej utleniania, który jest procesem biologicznym prowadzonym przez bakterie z rodzaju *Thiobacillus* oraz grzyby. W wyniku „żywienia się” drobnoustrojów siarką elementarną następuje utlenianie jej do formy siarczanowej, przez co staje się ona dostępna dla korzeni roślin. Utlenialność siarki elementarnej zależy od temperatury, uwilgotnienia gleby i stopnia jej rozdrobnienia. Stwierdzono, że im mniejsza jest wielkość cząsteczek nawozu tym silniej wzrasta proces utleniania. Głównym czynnikiem chemicznym wpływającym na proces utle-

niania siarki elementarnej jest pH gleby, które warunkuje aktywność bakterii siarkowych (1). Wolą one warunki kwaśne i mogą być nieaktywne lub nawet nieobecne w glebach alkalicznych z niedoborem siarki. Powolny proces udostępniania roślinom siarki z formy elementarnej do przyswajalnej pozwala na stosowanie jej przedsięwzięciem jesienią oraz na glebach lżejszych bez obawy dużych strat poprzez wymywanie. Jest ona wtedy tak dobrze pobierana przez rośliny, jak z gipsu lub siarczanu amonu (8).

Obecnie dostępne są także liczne **nawozy wieloskładnikowe** zawierające pewne ilości siarki dostosowane do nawożenia wybranych roślin uprawnych.

Należy podkreślić, iż zgodnie z Rozporządzeniem 2092/91/EWG z dnia 24.06.1991 r., siarczan potasu, siarczan magnezu (kizeryt), gips i siarka elementarna są dopuszczone do stosowania w rolnictwie ekologicznym.

Ustalanie dawki nawozu siarkowego

Dawkę nawozu można orientacyjnie określić na podstawie wymagań pokarmowych roślin względem siarki z uwzględnieniem strat wymycia. Należy pamiętać, iż wykorzystanie siarki z nawozów mineralnych kształtuje się na poziomie 30-60% i jest mniejsze niż azotu. Zróżnicowanie wielkości wykorzystania siarki zależy w dużym stopniu od wymywania. Nawożenie roślin „na zapas” nawozami siarczanowymi rozpuszczalnymi w wodzie nie jest wskazane, a gipsem ograniczone tylko do gleb ciężkich przy niezbyt dużych opadach atmosferycznych. Do zapobiegawczego nawożenia ozimin lub rzepaku należy stosować nawozy zawierające siarkę w formie słabo rozpuszczalnej w wodzie, jak superfosfaty proste, najlepiej w formie granulowanej, aby przedłużyć ich działanie. Natomiast do nawożenia roślin jarych i do nawożenia głównego przydatne są formy siarczanowe rozpuszczalne w wodzie.

Rośliny można również dokarmiać siarką dolistnie. Do tego celu nadają się szczególnie nawozy magnezowo-siarczanowe, a przede wszystkim sól gorzka (siarczan magnezu), ze względu na łatwą rozpuszczalność w wodzie.

Ustalenie dawki siarki nie jest proste. G r z e b i s z (3) proponuje, aby na gleby z niedoborem siarki jej dawka stanowiła w przypadku zbóż 1/5, rzepaku 2/5, kukurydzy 1/6, a buraka 1/3 wielkości dawki azotu. Natomiast W a ł k o w s k i (29) na podstawie doświadczeń stwierdza, że dawka siarki pod rzepak ozimy powinna stanowić 15-20% całkowitej dawki azotu. Z badań P o d l e ś n e j (20) prowadzonych w warunkach kontrolowanych wynika, że nawet rzepak, znany z dużego zapotrzebowania na siarkę, nie potrzebuje jej szczególnie dużo. Najwyższe plony nasion uzyskiwano, gdy S stanowiła 20-30% zastosowanej dawki azotu, przy czym przedstawione rozbieżności wynikały z różnic międzyodmianowych. Większe zapotrzebowanie na siarkę uzyskane przez autorkę (20), w porównaniu z danymi W a ł k o w s k i e g o (29), wynikają prawdopodobnie z warunków prowadzenia doświadczenia; w wazonach jest niewielka ilość gleby i rośliny nie mają dostępu do zasobnych w siarkę wód glebowych (7), co ma miejsce w warunkach pola uprawnego. Ponadto do doświadczeń wazonowych bierze się glebę ubogą w siarkę siarczanową. Dawka siarki nie powinna być jednak zbyt duża, ponieważ zwiększa to koszty związane z zakupem i wysiewem nawozu, a często obniża plony roślin i pogarsza ich jakość (19). A więc

zarówno niedobór siarki, jak też jej nadmiar są szkodliwe dla roślin uprawnych. Należy podkreślić, iż korzystnego oddziaływania siarki należy się spodziewać w przypadku gleb ubogich w ten składnik i uprawy na nich roślin o dużym na nią zapotrzebowaniu (22). Zatem dla oceny stanu zasobności gleb w pierwiastki nawozowe oraz planów odnośnie uprawy roślin i ich nawożenia wskazane jest wykonywanie analiz gleb przynajmniej raz na kilka lat.

Termin stosowania nawozów siarkowych

Jesienią jest raczej trudno zdiagnozować potrzeby rzepaku lub innych roślin ozimych względem siarki, aczkolwiek jest oczywiste, że pierwiastek ten może być użyteczny do utrzymania naturalnej odporności roślin (18). Na glebach lżejszych w okresie jesienno-zimowym może nastąpić wymycie jonów siarczanowych, przez co płytko korzeniące się rośliny nie będą w stanie z nich skorzystać. Stąd przed siewem roślin zaleca się stosować superfosfat prosty, gips lub siarkę elementarną. Wiadomo jest, że rzepak ma duże zapotrzebowanie na siarkę w ciągu całego okresu wegetacyjnego, chociaż okres krytyczny przypada w okresie wiosennym (BBCH 30-79), tj. od fazy wydłużania pędu poprzez pąkowanie, aż do zawiązywania łuszczyń (21). A zatem jeśli odczyn gleby jest uregulowany można zastosować siarkę wraz z pierwszą wiosenną dawką azotu w formie siarczanu amonu, kizerytu, soli gorzkiej lub siarczanu potasu (4). Jakubus i Tobała (8) wykazali, że zastosowanie siarki w terminie wiosennym zwiększało jej zawartość w roślinach w porównaniu do stosowanej w terminie jesiennym. Aby zapobiec spadkowi plonu pszenicy ozimej, wynikającemu z widocznych symptomów deficytu siarki w glebie, należy zastosować nawóz zawierający siarkę – najpóźniej do końca fazy krzewienia. Można to zrobić przez zastosowanie siarki elementarnej w formie oprysku, w dawce $5-10 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Objawy deficytu S obserwowane w późniejszych fazach rozwojowych zbóż ozimych, limitujące wypełnianie ziarna, wymagają także korzystnie działającego zabiegu dokarmiania dolistnego (18). W przypadku zbóż jarych zaleca się aplikację siarki w fazie ich krzewienia. Zastosowana w tej fazie działa skuteczniej plonotwórczo niż zaaplikowana w fazie strzelania w źdźbło.

Nawozy naturalne

Nawozy naturalne, w tym obornik i gnojowica, zawierają wszystkie niezbędne dla roślin składniki pokarmowe, ale w stężeniach znacznie mniejszych niż nawozy mineralne. Przyjmuje się, że obornik zawiera średnio 0,08, a gnojowica 0,05% siarki w formie SO_3 (12). Jednakże skład nawozów naturalnych, jak też zawartość w nich siarczanów może ulegać zmianie w zależności od żywienia zwierząt i sposobu przechowywania nawozów. Z badań wynika, że efektywność działania gnojowicy bydłowej wynosi od 5 do 55% w porównaniu z gipsem. Natomiast dostępność siarki z gnojowicy jest określana na $0,02-0,03 \text{ kg S} \cdot \text{t}^{-1}$. Chociaż siarka zawarta w oborniku lub gnojowicy występuje w formie różnych związków, to tylko siarka siarczanowa z puli nieorganicznej jest dostępna dla roślin bezpośrednio po zastosowaniu nawozu. Natomiast pozostałe związki siarkowe mogą ulatniać się jako H_2S lub wiązać w metalo-

siarczki, które bez procesu mineralizacji nie są bezpośrednio dostępne dla roślin. W efekcie tylko 5-7% siarki pochodzącej z tych nawozów jest pobierane przez rośliny. Przedstawiona sytuacja wskazuje, że stosowanie samych nawozów naturalnych nie zabezpiecza potrzeb roślin względem siarki. Mała dostępność siarki z tych nawozów w ujęciu krótkoterminowym powoduje, że w niektórych krajach europejskich nie zaleca się zmniejszania dawek nawozów mineralnych w roku stosowania obornika lub gnojowicy.

Uzupełniające nawożenie roślin siarką

W sytuacji braku analiz chemicznych, niekorzystnych warunków pogodowych (nadmiar opadów w okresie jesienno-zimowym, susza) lub wystąpienia symptomów deficytu siarki w czasie wegetacji można pobrać części wskaźnikowe głównych roślin uprawnych do oceny jej zawartości, opierając się na wyznaczonych dla nich zawartościach optymalnych (tab. 2).

Tabela 2

Optymalne zawartości siarki i azotu w organach wskaźnikowych roślin uprawnych

Roślina	Faza pobierania próbki	Optymalna zawartość (%)		
		N	S	N/S
Rzepak ozimy	przed kwitnieniem, młode liście z górnej części łodygi	4,8	0,55-0,65	8,7-7,4
Pszenica ozima	całe rośliny tuż przed kwitnieniem	1,6	0,18-0,30	8,9-5,3
Burak cukrowy	środkowe, w pełni rozwinięte liście; początek lipca	4,7	0,4	11,8
Trawy	pełen odrost w dojrzałości do koszenia lub spasanania	2,4	0,3	8,0

Źródło: Grzebisz W., 1997 (3).

Wartości kształtujące się poniżej przedstawionych w tabeli 2 zawartości optymalnych wskazują na konieczność szybkiej interwencji. Można wówczas wykonać zabieg dolistnego dokarmiania roślin 5% roztworem siarczanu magnezu lub innym dostępnym nawozem płynnym zawierającym siarkę. Badania wazonowe prowadzone z rzepakiem ozimym wykazały wysoką efektywność pobierania siarki z oprysku, a następnie włączanie jej do metabolizmu i dużą skuteczność plonotwórczą (22).

Podsumowanie

Siarka jest zaliczona do składników pokarmowych niezbędnych dla roślin, co oznacza, że w swoich funkcjach fizjologicznych nie może być zastąpiona przez żaden inny pierwiastek. Jej rola w kształtowaniu wielkości i jakości plonu roślin uprawnych została wielokrotnie potwierdzona. W sytuacji znacznej przewagi w Polsce gleb o niskiej

zawartości siarki siarczanowej, jak również stałego zagrożenia jej wymycia z profilu glebowego do wód gruntowych i immobilizacji należy zwracać uwagę na dostępność tego składnika dla roślin uprawnych. Znajomość tych czynników oraz procesów chemicznych zachodzących w glebach i aktualnej zasobności gleb w składniki pokarmowe, jak również obserwacja warunków pogodowych pozwala na optymalne zabezpieczenie roślin w ten pierwiastek. A więc warunkiem uzyskiwania zadowalających efektów plonotwórczych jest świadome działanie rolnika oraz podejmowanie decyzji na podstawie oceny potrzeb żywienia roślin siarką w celu właściwej interwencji nawozowej.

Literatura

1. Bouranis D. L., Buchner P., Chorianopoulou S. N., Hopkins L., Protonotarios V. E., Siyiannis V. F., Hawkesford M. J.: Responses to sulfur limitation in maize. In: Sulfur assimilation and abiotic stress in plants. Khan N. A. et al. (Ed.), Springer, 2008, 1-19.
2. Gorlach E., Mazur T.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 2001, 229-230.
3. Grzebisz W.: Czy nawożenie siarką jest już konieczne? Top Agrar Polska, 1997, **1**: 20-23.
4. Grzebisz W.: Potrzeby pokarmowe i zasady nawożenia. W: Technologia produkcji rzepaku. Muśnicki i in. (red.), Wiś Jutra, Warszawa, 2005, 74-83.
5. Haneklaus S., Schnug E.: Diagnosis of crop sulphur status and application of X-Ray fluorescence spectroscopy for the sulphur determination in plant and soil materials. Sulph. Agric, 1994, **18**: 31-40.
6. http://www.kali-gmbh.com/plpl/fertiliser/advisory_service/nutrients/sulphur.html
7. Igras J.: Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolnych w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG Puławy, 2004, **13**.
8. Jakubus M., Toboła P.: Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w rzepaku ozimym w zależności od nawożenia. Rośliny Oleiste, 2005, **1**: 149-161.
9. Jankowski K., Budzyński W., Szymanowski A.: Effect of sulfur on the quality of winter rape seeds. J. Element., 2008, **13(4)**: 521-534.
10. Jones M. B., Rendig V. V., Torell D. T., Inouye T. S.: Forage quality for sheep and chemical composition associated with sulfur fertilization an a sulfur deficient site. Agron. J., 1982, **74**: 775-780.
11. Klikocka H., Haneklaus S., Bloem E., Schnug E.: Ocena potrzeb nawożenia ziemniaka siarką. Nawozy i Nawożenie, 2003, **4(17)**: 143-150.
12. Koter M.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 1987.
13. Kruse C., Jost R., Lipschis M., Kopp B., Hartmann M., Hell R.: Sulfur-enhanced defence: effects of sulfur metabolism, nitrogen supply, and pathogen lifestyle. Plant Biol., 2007, **9**: 608-619.
14. Lityński T., Jurkowska H.: Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN Warszawa, 1982.
15. McGrath S. P., Zhao F., Blake-Kalff M. M. A.: Sulphur in soils: processes, behaviour and measurement. Nawozy i Nawożenie, 2003, **2(15)**: 28-54.
16. Mortensen J., Eriksen J.: Effect of sulphur deficiency on amino acid composition. Norweg. J. Agric. Sci., Suppl., 1994, **15**: 135-142.
17. Motowicka-Terelak T., Terelak H.: Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 1998.
18. Pedersen C. A., Knudsen L., Schnug E.: Sulphur fertilization. In: Sulphur in Agroecosystems, E. Schnug (Ed.), Kluwer Academic Publisher, 1998, 115-134.

19. Podleśna A.: Air pollution by sulfur dioxide in Poland – impact on agriculture. *Phyton*, Special issue “Global change”, 2002, **42(3)**: 65-71.
20. Podleśna A.: Reakcja rzepaku ozimego na zróżnicowane nawożenie siarką. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2002, **481**: 335-339.
21. Podleśna A.: Nawożenie siarką jako czynnik kształtujący metabolizm roślin uprawnych i jakość plodów rolnych. *Pam. Puł.*, 2005, **139**: 161-174.
22. Podleśna A.: Wzrost, rozwój i plonowanie odmian rzepaku ozimego w zależności od nawożenia siarką. *Nawozy i Nawożenie*, 2006, **1(26)**: 157-170.
23. Podleśna A., Cacak-Pietrzak G.: Kształtowanie plonu oraz parametrów przemiałowych i wypiekowych pszenicy jarej poprzez nawożenie azotem i siarką. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 381-392.
24. Podleśna A., Jędrzycka M., Lewartowska E.: Występowanie chorób grzybowych na rzepaku ozimym w warunkach zróżnicowanego nawożenia siarką i azotem. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops*, 2005, **26**: 173-184.
25. Seidler M., Gawliński S., Goźliński H.: Siarka w organizmach roślin wyższych. W: Siarka w biosferze. J. Siuta, M. Rejman-Czajkowska (red.). PWRiL Warszawa, 1980, 168-193.
26. Srivelli S., Khanna-Chopra R.: Role of glutathione in abiotic stress tolerance. In: *Sulfur assimilation and abiotic stress in plants*. N. Khan et al. (Ed.), Springer, 2008, 207-225.
27. Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz.: Ocena zanieczyszczenia gleb siarką metoda IUNG. W: *Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005–2007*. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 2008, 121-122.
28. Toboła P., Jakubus M.: Ocena wartości nawozowej gipsu oraz siarczanu amonu jako źródeł siarki dla rzepaku. *Nawozy i Nawożenie*, 2003, **4**: 56-63.
29. Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Krzymąński J.: Rzepak ozimy. IHAR Poznań, 2007/2008.
30. Wiebiski F.: Aktualne problemy nawożenia rzepaku w Polsce. W: *Zbilansowane nawożenie rzepaku – aktualne problemy*. W. Grzebisz (red.). AR Poznań, 2000, 261-276.

Adres do korespondencji:

dr Anna Podleśna
IUNG-PIB
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21
e-mail: ap@iung.pulawy.pl