

OCENA WPŁYWU SIARKI WPROWADZONEJ DO GLEBY
Z NAWOŻENIEM MINERALNYM ORAZ ODPADEM PO PRODUKCJI
SIARCZANU MAGNEZU NA JEJ ZAWARTOŚĆ W PSZENICY JAREJ
(*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Krzysztof Gondek

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie. Doświadczenie wazonowe prowadzone w dwóch seriach, niewapnowanej (0 Ca) i wapnowanej (+ Ca) obejmowało 6 obiektów: 0 – gleba bez nawożenia, NPK – gleba nawożona azotem, fosforem i potasem, NPK + S1 s.a. – gleba nawożona azotem, fosforem, potasem i siarką wprowadzoną z siarczanem amonu, NPK + S1 o. – gleba nawożona azotem, fosforem, potasem oraz siarką, którą wprowadzono z odpadem po produkcji siarczanu magnezu oraz NPK + S3 s.a. – gleba nawożona azotem, fosforem, potasem i siarką wprowadzoną w formie siarczanu amonu, w dawce 3-krotnie większej od wprowadzonej do gleby w obiektach NPK + S1 s.a. i NPK + S1 o. W każdym roku doświadczenia uprawiano pszenicę jarą. W uzyskanych roztworach po mineralizacji materiału roślinnego zawartość siarki oznaczono metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace. Średni (dla trzech lat) sumaryczny plon biomasy pszenicy jarej (ziarno, słoma, korzenie), przy porównywalnych wartościach błędów standardowych średniej arytmetycznej dla poszczególnych obiektów był największy po zastosowaniu siarki w formie siarczanu amonu. W porównaniu do plonu biomasy z obiektów, w których zastosowano mniejszą dawkę siarki, zarówno wprowadzonej z siarczanem amonu, jak również z odpadem po produkcji siarczanu magnezu, mniejszy plon biomasy uzyskano w obiekcie, w którym siarkę zastosowano w dawce trzykrotnie większej. Średnia arytmetyczna ważona zawartość siarki w ziarnie, słomie i korzeniach pszenicy nawożonej siarką była istotnie większa od zawartości oznaczonej w biomacie pszenicy nienawożonej tym pierwiastkiem. Zwiększenie dawki siarki nie spowodowało istotnych różnic w zawartości tego pierwiastka w biomacie pszenicy.

Słowa kluczowe: nawożenie, siarka, pszenica jara

WSTĘP

Duże wymagania pokarmowe niektórych roślin w stosunku do siarki, zmniejszenie zużycia nawozów zawierających ten pierwiastek, redukcja emisji związków siarki do atmosfery oraz znaczne wymycie siarczanów powodują, że w wielu

glebach bilans tego pierwiastka jest ujemny (Schnug 1998, Irwin i in. 2002, Walker i Dawson 2003, Zhao i in. 2003, Mathot i in. 2008). Niedobór siarki dla roślin może ograniczać wykorzystanie pozostałych składników, w tym azotu, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia plonów i pogorszenia ich jakości (Luo i in. 2000, Wang i in. 2002, Wieser i in. 2004, Miliard i in. 2006).

Znajomość wpływu nawożenia, w tym substancjami pochodzenia odpadowego, na zawartość siarki w roślinie jest ważne dla zapewnienia optymalnego poziomu żywienia roślin tym pierwiastkiem oraz obciążenia środowiska naturalnego (Schnug 1998). Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zastosowanych nawozów mineralnych oraz odpadu po produkcji siarczanu magnezu na tle wapnowania na zawartość siarki w pszenicy jarej.

MATERIAŁ I METODY

Ocenę oddziaływania zastosowanego nawożenia na ilość biomasy oraz zawartość siarki w pszenicy jarej przeprowadzono w warunkach doświadczenia wazonowego w hali wegetacyjnej. Do badań użyto materiału glebowy (glinę średnią pylastą zawierającą 44% frakcji granulometrycznej o średnicy $> 0,02$ mm) pobrany z warstwy 0-30 cm gruntu ornego. Charakterystykę wybranych właściwości chemicznych materiału glebowego podano w tabeli 1.

Badania prowadzono w 3 letnim okresie (2004-2006), w wazonach polietylenowych mieszczących 22,0 kg powietrznie suchego materiału glebowego. Doświadczenie prowadzone w trzech powtórzeniach i dwóch seriach, niewapnowanej (0 Ca) i wapnowanej (+ Ca) obejmowało 6 obiektów: 0 – gleba bez nawożenia, NPK – gleba nawożona azotem, fosforem i potasem, NPK + S1 s.a. – gleba nawożona azotem, fosforem, potasem i siarką wprowadzoną z siarczanem amonu, NPK + S1 o. – gleba nawożona azotem, fosforem, potasem oraz siarką, którą wprowadzono z odpadem po produkcji siarczanu magnezu oraz NPK + S3 s.a. – gleba nawożona azotem, fosforem, potasem i siarką wprowadzoną z siarczanem amonu, w dawce 3-krotnie większej od wprowadzonej do gleby w obiektach NPK + S1 s.a. i NPK + S1 o.

Przed założeniem doświadczenia glebę stopniowo nawilżano doprowadzając ją do wilgotności 30% maksymalnej pojemności wodnej. Po nawilżeniu część materiału glebowego zwapnowano, w celu podwyższenia wartości pH, w każdym wazonie oddzielnie. Zabieg ten przeprowadzono przy użyciu czystego chemicznie CaO ustalając dawkę na podstawie całkowitej kwasowości hydrolitycznej gleby. Następnie materiał glebowy niewapnowany i zwapnowany pozostawiono na 4 tygodnie, uzupełniając okresowo straty wody. Po tym czasie wymieszano nawozy mineralne oraz odpad po produkcji siarczanu magnezu z glebą. Zawartość suchej masy w badanym odpadzie wynosiła $630 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, azotu ogólnego $0,09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.

Tabela 1. Wybrane chemiczne właściwości gleby i odpadu użytego w doświadczeniu
Table 1. Selected chemical properties of soil and waste used in experiment

Oznaczenie – Determination	Gleba – Soil
pH H ₂ O	6,33 ± 0,01
pH KCl	5,70 ± 0,02
Kwasowość hydrolityczna - Hydrolitic acidity (mmol(+)-kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	23,9 ± 1,2
C organiczny – Organic C (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	19,3 ± 1,1
N ogólny – Total N (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	1,60 ± 0,12
Siarka ogólna - Total S (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	0,28 ± 0,02
P przyswajalny – P available (mg·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	48,6 ± 1,5
K przyswajalny – K available (mg·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	158,8 ± 5,6
Mg przyswajalny – Mg available (mg·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	129,1 ± 4,7
Ca wymienny – Ca exchangeable available (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	2,44 ± 0,08
Oznaczenie – Determination	Odpad – Waste
pH H ₂ O	9,53 ± 0,09
Sucha masa – Dry matter (g·kg ⁻¹)	630 ± 31
Popiół – Ash (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	726 ± 37
N ogólny – Total N (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	0,09 ± < 0,01
P ogólny – Total P (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	0,35 ± 0,01
K ogólny – Total K (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	0,28 ± 0,01
S ogólna – Total S (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	67,1 ± 2,4
Mg ogólny – Total Mg (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	9,28 ± 0,46
Ca ogólny – Total Ca (g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.)	1,68 ± 0,07

Średnia ± błąd standardowy – Average ± standard error, n = 3.

Oznaczona wartość przewodności elektrolitycznej była równa 14,9 mS·cm⁻¹. Pozostałe właściwości chemiczne odpadu przedstawiono w tabeli 1. Dawka azotu, fosforu i potasu była taka sama we wszystkich obiektach i wynosiła odpowiednio 0,14 g N, 0,10 g P i 0,15 g K·kg⁻¹ s.m. gleby. Siarkę zastosowano jednorazowo w pierwszym roku badań. Dawka siarki w obiektach NPK + S1 s.a. (wprowadzona z siarczanem amonu) i NPK + S1 o. (wprowadzona z odpadem po produkcji siarczanu magnezu) wynosiła 0,04 g S, a w obiekcie NPK + S3 s.a. wynosiła 0,12 g S·kg⁻¹ s.m. gleby. Nawożenie podstawowe w pierwszym roku badań w obiektach NPK; NPK + S1 s.a.; NPK + S3 s.a. oraz uzupełniające w obiekcie NPK + S1 o. zastosowano w formie roztworów czystych chemicznie soli, odpowiednio: azot (N) w formie NH₄NO₃, fosfor (P) w formie Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, potas (K) w formie KCl, natomiast siarkę (S) w formie (NH₄)₂SO₄. W drugim i trzecim roku badań zastosowano

uzupełniające dawki azotu, fosforu i potasu, jednakowe we wszystkich obiektach (0,10 g N; 0,02 g P oraz 0,14 g K·kg⁻¹ s.m. gleby). Składniki te wprowadzono w formie roztworów czystych chemicznie soli jak w roku pierwszym badań.

W każdym roku doświadczenia uprawiano pszenicę jarą odmiany „Nawra”. Obsada roślin w wazonie wynosiła 28 sztuk. Pszenicę zbierano w fazie dojrzałości pełnej ziarna. Długość okresu wegetacji roślin wynosiła: w pierwszym roku 109 dni; w drugim 104 dni, a w trzecim 96 dni. Podczas trwania eksperymentu rośliny podlewano wodą destylowaną do 50% maksymalnej pojemności wodnej gleby.

Po zbiorze, rośliny pszenicy rozdzielono na korzenie, słomę i kłosa. Dla uzyskania biomasy ziarna kłosa wymłócono mechanicznie. W celu określenia plonu suchej masy, poszczególne frakcje plonu pszenicy suszono (temp. 70°C) w suszarce z przepływem gorącego powietrza do stałej masy. Materiał roślinny (oddzielnie ziarno, słomę i korzenie) rozdrobniono w młynku laboratoryjnym. Po rozdrobnieniu materiał roślinny zmineralizowano na mokro w stężonym HNO₃ (d = 1,40). Ze względu na występowanie siarki w materiale roślinnym w związkach organicznych po odparowaniu HNO₃ w celu przeprowadzenia siarki w formę siarczanową pozostałość zadano Mg(NO₃)₂. Po odparowaniu Mg(NO₃)₂ na łaźni piaskowej próbki mineralizowano w piecu muflowym, początkowo w temperaturze 300°C (przez 2 godziny), a następnie w temperaturze 450°C (przez 3 godziny). Pozostałość roztworzono w rozcieńczonym HNO₃ 25% (v/v) (Ostrowska i in. 1991).

W uzyskanych roztworach po mineralizacji materiału roślinnego zawartość siarki oznaczono metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace (Francja), a uzyskane zawartości siarki w materiale roślinnym przeliczono na suchą masę materiału (105°C przez 12 godzin).

Analizę chemiczną materiału roślinnego prowadzono w trzech powtórzeniach. Dla weryfikacji uzyskanych wyników oznaczeń w materiale roślinnym oraz glebie wyjściowej i materiale odpadowym do serii analitycznych dołączono próbkę roślinną NCS DC733448 (China National Analysis Center for Iron & Steel) i glebową materiału referencyjnego EnviroMAT, SS-2 (SCP Science). Wynik uznawano za wiarygodny, jeżeli względny błąd oznaczenia nie przekraczał 5%.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie według modelu stałego gdzie czynnikiem było nawożenie i wapnowanie. W obliczeniach statystycznych uwzględniono analizę wariancji dwuczynnikową, a istotność różnic oszacowano testem t-Tukeya, przy poziomie istotności $p < 0,01$. Wszystkie obliczenia statystyczne wykonano za pomocą pakietu Statistica PL (Stanisz 2007).

WYNIKI I DYSKUSJA

Niezależnie od serii doświadczenia (0 Ca, + Ca), plony ziarna pszenicy jarej były istotnie większe w obiektach, w których zastosowano nawożenie w porów-

naniu do plonów ziarna w obiektach nienawożonych (0) (rys. 1). Największe zróżnicowanie plonu ziarna pszenicy pomiędzy obiektami i seriami doświadczenia stwierdzono w pierwszym roku badań. Mimo braku potwierdzenia statystycznego uzyskanych różnic większe plony biomasy ziarna pszenicy zebrano w obiektach serii niewapnowanej, niezależnie od zastosowanego nawożenia. Przy porównaniu plonów w obiektach nie nawożonych i nawożonych siarką wprowadzoną z siarczanem amonu (NPK + S1 s.a.) i odpadu po produkcji siarczanu magnezu (NPK + S1 o.), uzyskano większy plon biomasy ziarna. Wprowadzenie trzykrotnie większej dawki siarki do gleby (NPK + S3 s.a.), w porównaniu do obiektów (NPK + S1 s.a. i NPK + S1 o.) spowodowało istotne zmniejszenie plonu ziarna pszenicy, ale tylko w serii wapnowanej. W drugim i trzecim roku badań plony ziarna pszenicy, niezależnie od serii doświadczenia były znacznie mniej zróżnicowane pomiędzy obiektami, przy porównywalnych poziomach plonów do uzyskanych w roku pierwszym.

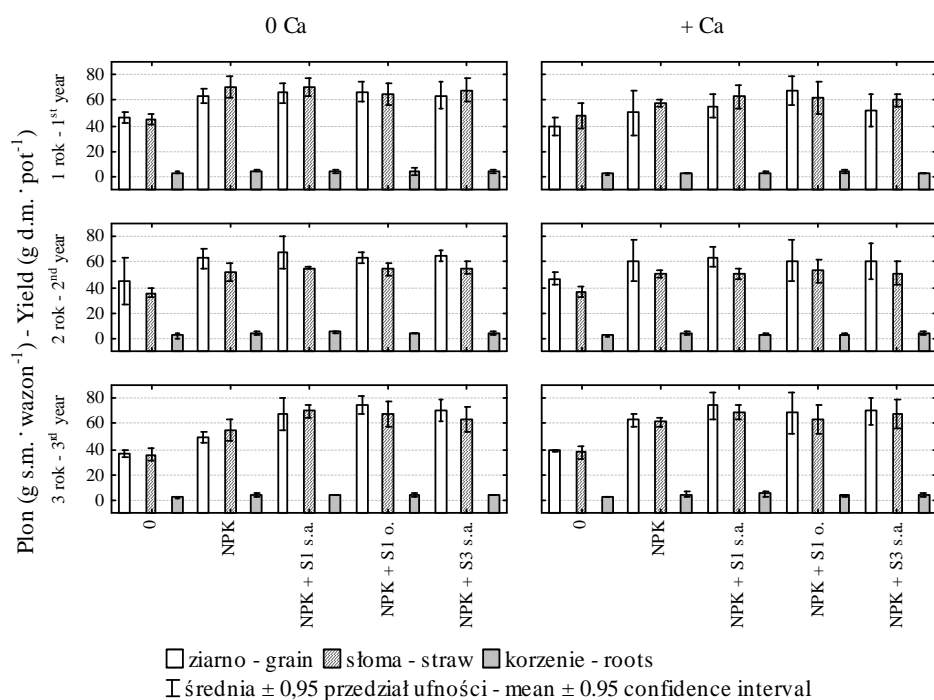
Plon biomasy słomy wykazywał podobne zależności, jak plon ziarna pszenicy. Największe plony suchej masy słomy zebrano, w obiektach serii niewapnowanej (0 Ca) w pierwszym roku badań, a w obiektach serii wapnowanej (+ Ca) w trzecim roku (rys. 1). Nie stwierdzono istotnego zmniejszenia plonu suchej masy słomy w obiekcie, w którym zastosowano siarkę w dawce 3-krotnie większej (NPK + S3 s.a.) w porównaniu do ilości wprowadzonej w obiektach (NPK + S1 s.a., NPK + S1 o.).

Ilość biomasy korzeni pszenicy z poszczególnych obiektów, w obrębie serii doświadczenia (0 Ca, + Ca) nie różniła się istotnie, niezależnie od roku badań (rys. 1). Nieco mniejsze ilości biomasy tej części roślin uzyskano w pierwszym i drugim roku badań w obiektach serii wapnowanej (+ Ca) w porównaniu do obiektów identycznie nawożonych serii niewapnowanej (0 Ca). Podobnie jak w przypadku ziarna i słomy pszenicy, istotnie mniejsze ilości tej części roślin uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano 3-krotnie większą dawkę siarki, ale tylko w pierwszym roku badań.

Średni (dla trzech lat) sumaryczny plon biomasy pszenicy jarej (ziarno, słoma, korzenie), przy porównywalnych wartościach błędów standardowych średniej arytmetycznej dla poszczególnych obiektów, był największy po zastosowaniu na tle nawożenia azotem, fosforem i potasem siarki w formie siarczanu amonu (NPK + S1 s.a.) (rys. 2). W porównaniu do plonu biomasy z obiektów, w których zastosowano mniejszą dawkę siarki, zarówno w formie siarczanu amonu (NPK + S1 s.a.) jak również w formie odpadu po produkcji siarczanu magnezu (NPK + S1 o.) mniejszy plon biomasy uzyskano w obiekcie, w którym siarkę zastosowano w dawce trzykrotnie większej (NPK + S3 s.a.).

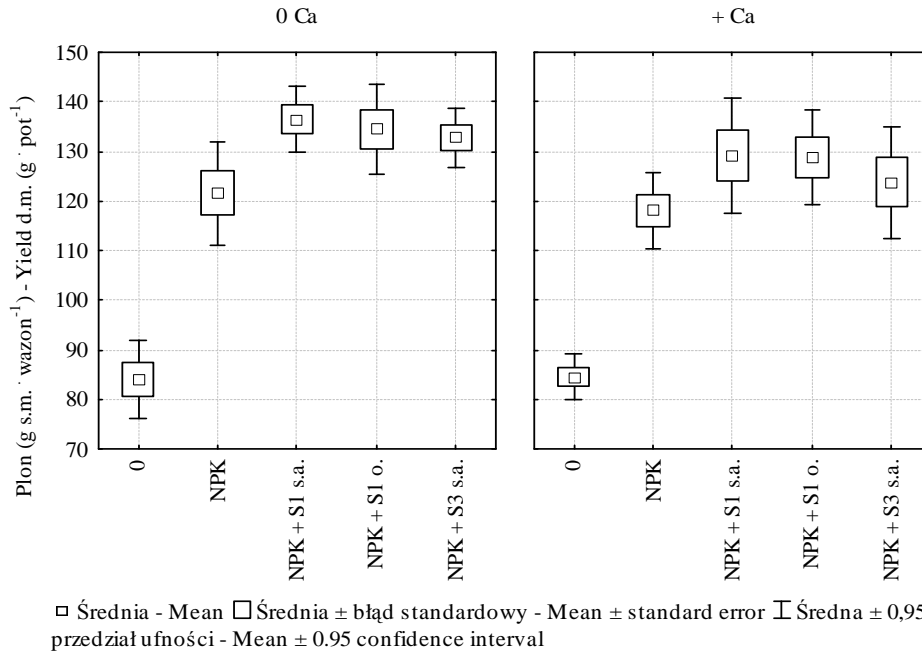
Dążenie do zwiększania plonów roślin opiera się na działaniu trzech grup czynników: postępu hodowlanego (uzyskanie wysoko produkcyjnych odmian roślin); sku-

tecznej ochrony roślin oraz zwiększonego zużycia nawozów (Vong i in. 2007, Delin i in. 2008). W warunkach glebowo-klimatycznych Polski spośród składników nawozowych azot jest czynnikiem, który w decydujący sposób wpływa na wielkość i jakość uzyskiwanych plonów (Ellenberg 1977, Ciećko i in., 2006). Nie mniej o żyzności gleby, a tym samym o jej urodzajności decyduje również zawartość przyswajalnych form innych składników pokarmowych w tym siarki, a niezrównoważone nawożenie tym pierwiastkiem może obciążać środowisko naturalne. Odpowiednie zapotrzebowanie roślin w siarkę wpływa korzystnie na proces fotosyntezy, biosyntezy białka oraz zawartość kwasów nukleinowych, a w efekcie na odpowiednią wartość technologiczną plonu (El Hadal i in. 1995, Peltonen i Virtanen 1994, Wang i in. 2002, Luo i in. 2000, Wieser i in. 2004). Pomimo, że pszenica należy do grupy roślin o stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na ten składnik, to przy niedoborach siarki oraz dużych dawkach azotu może ulec zakłóceniu stosunek N:S, co w konsekwencji zmniejsza wykorzystanie azotu oraz może doprowadzić do zmniejszenia plonów (Flaete i in. 2005, Miliard i in. 2005, Kocoń 2005). W przeprowadzonych badaniach



Rys. 1. Plon suchej masy ziarna, słomy oraz ilość biomasy korzeni pszenicy jarej w poszczególnych latach badań

Fig. 1. Yield of dry matter of grain, straw and quantity biomass of roots spring wheat in each years of investigations



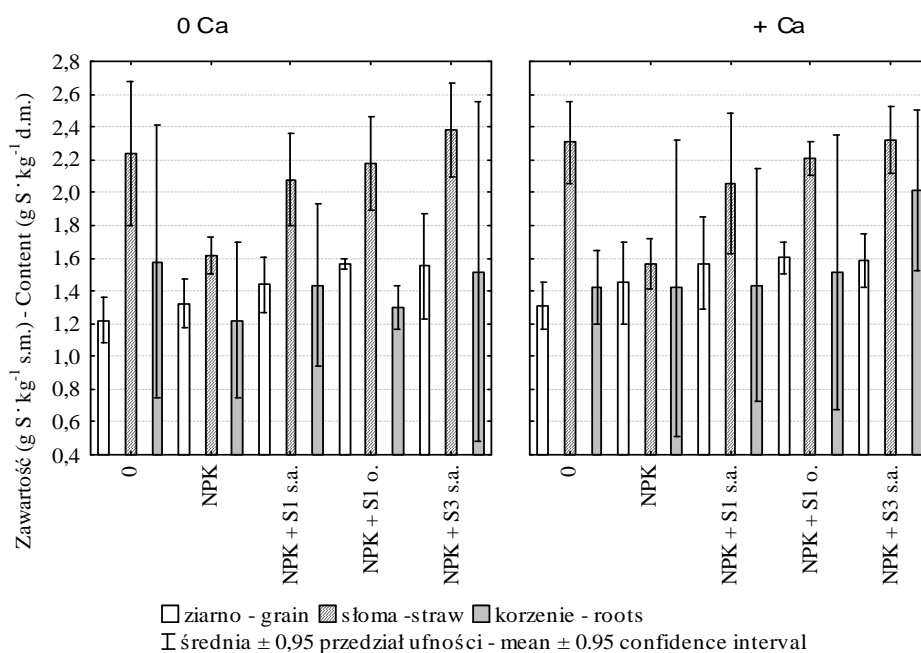
Rys. 2. Średni (dla trzech lat) plon biomasy (Σ dla ziarna, słomy i korzeni) pszenicy jarej

Fig. 2. Average (from three years) biomass yield (Σ yields of grain, straw and roots) of spring wheat

nawożenie siarką pszenicy jarej zarówno wprowadzonej z siarczanem amonu jak również z odpadem po produkcji siarczanu magnezu spowodowało większy przyrost biomasy ziarna w porównaniu do ilości tej części plonu zebranej w obiekcie, w którym nie zastosowano nawożenia tym składnikiem. Należy jednak podkreślić że tak wyraźna reakcja roślin na nawożenie tym pierwiastkiem dotyczyła pierwszego roku badań. Wynika stąd, że jednokrotne zastosowanie nawożenia siarką w okresie trzech lat nie jest wystarczające dla zaspokojenia potrzeb pokarmowych roślin. Według Schnuga i in. (1993) przyrost plonu roślin w obiektach, w których zastosowano nawożenie siarką mógł być spowodowany lepszym wykorzystania azotu mineralnego przez pszenicę jarą w porównaniu do wykorzystania tego składnika w obiektach, w których siarki nie zastosowano. Nie potwierdzono również zakładanego „następczego” wpływu zastosowanego nawożenia odpadem po produkcji siarczanu magnezu na plonowanie roślin. Wprowadzenie trzykrotnie większej dawki siarki do gleby w obiekcie NPK + S3 s.a., w porównaniu do obiektów NPK + S1 s.a. i NPK + S1 o. spowodowało zmniejszenie plonu ziarna pszenicy, głównie w pierwszym roku badań, nie mniej wskazuje to na konieczność nawożenia roślin siarką ściśle według zapotrzebowania na ten pierwiastek. Również

Skwierawska i in. (2008), wykazała że większe dawki siarki zwłaszcza zastosowane w formie siarczanowej spowodowały redukcje plonu biomasy między innymi jęczmienia jarego ograniczając dodatkowo ilości pobranego potasu. Według Brodowskiej (2003) oprócz nawożenia, w tym siarką istotny wpływ na wzrost i rozwój roślin pszenicy ma wapnowanie gleby. W prezentowanych badaniach uzyskano mniejsze plony biomasy pszenicy uprawianej na glebie zwapnowanej. Mogło to być spowodowane zbyt krótkim okresem od przeprowadzenia wapnowania do wysiewu nasion. W konsekwencji spowodowało to ujemną reakcję pszenicy na ten zabieg, głównie w pierwszym roku badań. Podobną reakcją roślin na wapnowane zaobserwowali Gorlach i Gorlach (1983).

Średnia arytmetyczna ważona zawartość siarki w ziarnie, słomie i korzeniach pszenicy, z obiektów w których zastosowano siarkę była istotnie większa od zawartości oznaczonej w biomacie pszenicy nienawożonej tym pierwiastkiem (rys. 3). W porównaniu do zawartości siarki oznaczonej w biomacie części nadziemnych pszenicy z obiektu nienawożonego siarką (NPK) przyrost zawartości tego składnika wynosił, niezależnie od serii doświadczenia dla ziarna: w obiekcie NPK + S1 s.a. 10%, w obiekcie NPK + S1 o. 14%.



Rys. 3. Średnia ważona z trzech lat zawartość w suchej masie ziarna, słomy i korzeni pszenicy jarej
Fig. 3. Average weighted content from three years of sulphur in dry matter of grain, straw and roots of spring wheat

Ilości siarki pobranej z plonem biomasy pszenicy jarej, były największe w obiektach, w których zastosowano nawożenie siarką w porównaniu do ilości tego pierwiastka pobranej przez roślin w obiekcie, w którym pszenicę nawożono tylko azotem, fosforem i potasem (NPK) (tab. 2). Analizując wpływ wapnowania na ilości siarki pobranej z plonem biomasy pszenicy, stwierdzono nieco większe ilości pobrane tego pierwiastka, niezależnie od zastosowanego nawożenia z gleby niewapnowanej (0 Ca).

Tabela 2. Ilości pobrane siarki (suma z trzech lat) przez plon biomasy pszenicy jarej
Table 2. Sulphur uptake (total from three years) with biomass yield of spring wheat

Obiekt – Object	0 Ca	+ Ca
	g S wazon ⁻¹ – g S·pot ⁻¹	
0	0,426 ± 0.01 ^a	0,452 ± 0.01 ^a
NPK	0,528 ± 0.01 ^a	0,530 ± 0.01 ^{ac}
NPK + S1 a.s.	0,709 ± 0.02 ^b	0,693 ± 0.04 ^b
NPK + S1 w.	0,739 ± 0.02 ^b	0,722 ± 0.04 ^b
NPK + S3 a.s.	0,768 ± 0.03 ^b	0,711 ± 0.01 ^b

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie według testu t-Tukeya przy $p < 0,01$; czynniki nawożenie × wapnowanie – Means followed by the same letters did not differ significantly at $p < 0.01$ according to the t-Tukey test; factors fertilization × liming

Według Kaczora i in. (2004) zawartość siarki w roślinach, oprócz nawożenia tym pierwiastkiem jest uwarunkowana fazą rozwojową i organem rośliny, a także zależy od wapnowania gleby. W przeprowadzonych badaniach średnia arytmetyczna ważona zawartość siarki w ziarnie, słomie i korzeniach pszenicy nawożonej siarką była istotnie większa od zawartości oznaczonej w biomacie pszenicy nienawożonej tym pierwiastkiem. Zwiększenie zawartości siarki w biomacie roślin w wyniku nawożenia stwierdzili również w swoich badaniach McGrath i in. (1996) oraz Zhao i in. (1996). Również Shahsavani i Gholami (2008) stwierdzili zwiększenie zawartości siarki w różnych odmianach pszenicy jarej w wyniku zastosowanego nawożenia tym pierwiastkiem, a ponadto udowodnili istotną zależność pomiędzy zawartością siarki a zawartością białka w ziarnie. Pod względem oceny jakości uzyskanego plonu ziarna większe znaczenie od zawartości siarki ma zawartość oraz jakość białka. Zdaniem Castle'a i Randall (1987) przy odpowiednim zaopatrzeniu roślin w siarkę następują zmiany w początkowym okresie rozwoju nasion, w wyniku których poziom akumulacji białka zwiększa się. Już dawno autorzy donosili, że w pszenicy narażonej na niedobory siarki azot białkowy stanowił mniej niż 25% całkowitej ilości azotu zawartego w roślinie, a w warunkach optymalnego odżywienia roślin tym składnikiem około 75% azotu

było wbudowane w białko (Stewarda i Portera 1969). Według Aulakh i in. (1976) dodatek siarki do gleby powoduje zawężenie stosunku azotu ogólnego do siarki ogólnej, natomiast rozszerzenie wartości stosunku azotu białkowego do siarki zawartej w związkach białkowych. Pomimo trzykrotnie większej dawki siarki wprowadzonej do gleby w obiekcie NPK + S3 s.a. w porównaniu do obiektów NPK + S1 s.a. i NPK + S1 o. zawartość tego pierwiastka w biomase pszenicy nie różniła się istotnie od zawartości oznaczonej w biomase roślin z pozostałych obiektów nawożonych siarką. Wskazuje to, że pomimo znacznej zawartości form dostępnych tego pierwiastka w glebie rośliny pszenicy nie pobierały go w nadmiarze. Można przypuszczać, że wykorzystanie w uprawie bardziej wymagającej rośliny w stosunku do zapotrzebowania na siarkę mogłoby spowodować znacznie większe nagromadzenie tego składnika w biomase roślin (McGrath i Zhao 1996, Kaczor i in. 2004). Według Ashoka i Kumara (2008) istotnie na zawartość i ilości pobranej siarki przez rośliny wpływa zasobność gleby w ten pierwiastek.

WNIOSKI

1. Średni (dla trzech lat) sumaryczny plon biomasy pszenicy jarej (ziarno, słoma, korzenie), przy porównywalnych wartościach błędów standardowych średniej arytmetycznej z lat dla poszczególnych obiektów, był największy po zastosowaniu na tle nawożenia azotem, fosforem i potasem nawożenia siarką wprowadzoną z siarczanem amonu.
2. W porównaniu do plonu biomasy z obiektów, w których zastosowano mniejszą dawkę siarki, zarówno wprowadzonej z siarczanem amonu jak również z odpadem po produkcji siarczanu magnezu mniejszy plon biomasy uzyskano w obiekcie, w którym siarkę zastosowano w dawce trzykrotnie większej.
3. Średnia arytmetyczna ważona zawartość siarki w ziarnie, słomie i korzeniach pszenicy nawożonej tym pierwiastkiem była istotnie większa od zawartości oznaczonej w biomase pszenicy nienawożonej siarką. Zwiększenie dawki siarki nie spowodowało istotnych różnic w zawartości tego pierwiastka w biomase pszenicy.

PIŚMIENNICTWO

- Ashok G., Kumar J. N., 2008. Sulphur fertilization in a pearl millet (*Pennisetum glaucum*) – Indian mustard (*Brassica juncea*) cropping system. *Archiv. Agronomy Soil Sci.*, 54, 533-539.
- Aulakh M. S., Dev G., Arora B. R., 1976. Effect of sulphur fertilization on the nitrogen-sulphur relationships in alfalfa (*Medicago sativa* L. Pers.). *Plant Soil*, 45, 75-80.
- Brodowska M. S., 2003. Wpływ wapnowania i nawożenia siarką na wzrost, rozwój i plonowanie jarych form pszenicy i rzepaku. *Cz. I. Pszenica jara. Acta Agrophysica*, 1, 617-622.
- Castle S. L., Randall P. J., 1987. Effects of sulfur deficiency on the synthesis and accumulation of proteins in the developing wheat seed. *Aust. J. Plant Physiol.*, 14, 503-516.

- Ciećko Z., Żołnowski A. C., Krajewski W., 2006. Wpływ nawożenia NPK stosowanego w uprawie ziemniaka na zawartość N-NO₃ i N-NH₄ w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 513, 55-62.
- Delin S., Nyberg A., Lindén B., Ferm M., Torstensson G., Lerenius C., Gruvaeus, I., 2008. Impact of crop protection on nitrogen utilisation and losses in winter wheat production. *Europ. J. Agronomy*, 28, 361-370.
- El Hadal L., Ausenac T., Fabre J. L., Sarrafi H., 1995. Relationship between polymeric glutenin and the characteristic for common wheat (*Triticum aestivum*) grown in the field and greenhouse. *Cereal Chem.*, 72, 598-601.
- Ellenberg H., 1977. Stickstoff als standartsfaktor, insbesondere für mitteleuropäische pflanzengesellschaften. *Oecologia Plant*, 12, 1-22.
- Flaete N. E. S., Hollung K., Ruud L., Sogn T., Faergestad E. M., Skarpeid H. J., Magnus E. M., Uhlen A. K., 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. *J. Cereal Sci.*, 4, 357-369.
- Gorlach, E., Gorlach, K., 1983. Porównanie działania CaCO₃ i MgCO₃ oraz nawożenia wapniowo-magnezowego na skład chemiczny kilku gatunków roślin. *Rocz. Glebozn.*, XXXIV, 29-54.
- Irwin J. G., Campbell G., Vincent K., 2002. Trends in sulphate and nitrate wet deposition over the United Kingdom, 1986-1999. *Atmosph. Environ.*, 36, 2867-2879.
- Kaczor A., Brodowska M. S., Kowalski G. 2004. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki w jarych formach pszenicy i rzepaku. *Annales UMCS, Sec.*, E 59, 1847-1853.
- Kocoń A. 2005. Nawożenie jakościowej pszenicy jarej i ozimej a plon i jakość ziarna. *Pam. Puł.*, 139, 55-64.
- Luo C., Branlard G., Griffin W. B., McNeil D. L., 2000. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *J. Cereal Sci.*, 31, 185-194.
- Mathot M., Mertens J., Verlinden G., Lambert R., 2008. Positive effects of sulphur fertilisation on grasslands yields and quality in Belgium. *Europ. J. Agronomy*, 28, 655-658.
- McGrath S. P., Zhao F. J., 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.*, 126, 53-62.
- Millard P., Gordon A. H., Richardson A. J., Chesson A., 2006. Reduce ruminant degradation of ryegrass caused by sulphur limitation. *J. Sci. Food and Agric.*, 40, 305-314.
- Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny gleb i roślin. Wyd. IOŚ Warszawa.
- Peltonen J., Virtanen A., 1994. Effect of nitrogen fertilizers differing in release characteristics on the quality of storage proteins in wheat. *Cereal Chem.*, 71, 1-5.
- Schnug E. (Ed.), 1998. Sulphur in agroecosystems. Springer, 221 pp.
- Schnug E., Haneklaus S., Marphy D., 1993. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. *Sulphur Agric.*, 17, 8-12.
- Shahsavani S., Gholami A., 2008. Effect of sulphur fertilization on breadmaking quality of three winter wheat varieties. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 11, 2134-2138.
- Skwierawska M., Zawartka L., Zawadzki B., 2008. The effect of different rates and forms of applied sulphur on nutrient composition of planted crops. *Plant Soil Environ.*, 54, 179-189.
- Stanisz A., 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska.
- Stewart B. A., Porter L. K., 1969. Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agron. J.*, 61, 267-271.
- Vong P. Ch., Nguyen Ch., Guckert A., 2007. Fertilizer sulphur uptake and transformations in soil as affected by plant species and soil type. *Europ. J. Agronomy*, 27, 35-43.

- Walker K., Dawson Ch., 2003. Sulphur fertilizer recommendation in Europe. *Fertilizers and Fertilization*, 3, 71-89.
- Wang S., Wang Y., Schnug E., Haneklaus S., Fleckenstein J., 2002. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield, quality and digestibility and nitrogen and sulphur metabolism of sheep in the Inner Mongolia Steppes of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62, 195-202.
- Wieser H., Gutser R., von Tucher S., 2004. Influence of sulphur fertilisation on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *J. Cereal Sci.*, 40, 239-244.
- Zhao F. J., Hawkesford M. J., Warrilow A. G. S., McGrath S. P., Clarkson D. T., 1996. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. *Plant Soil*, 81, 317-327.
- Zhao F. J., Mc Grath S. P., Blake-Kalff, M. M. A., Link, A., Tucker, M., 2003. Crop responses to sulphur fertilization in Europe. *Fertilizers and Fertilization*, 4, 26-51.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF SULPHUR SUPPLIED TO THE SOIL
WITH MINERAL FERTILIZERS AND WASTE FROM MAGNESIUM
SULPHATE PRODUCTION ON ITS CONTENT IN SPRING WHEAT
(*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Krzysztof Gonddek

Department of Agricultural and Environmental Chemistry, University of Agriculture

Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

Abstract. The pot experiment was conducted in two series: without liming (0 Ca) and limed (+ Ca) on 6 treatments: 0 – soil without fertilizers, NPK – soil fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium, NPK+S1 s.a. – soil fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and sulphur supplied as ammonium sulphate, NPK + S1 o. – soil fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and sulphur supplied with the waste from magnesium sulphate production and NPK + S3 s.a. – soil fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and sulphur supplied as ammonium sulphate in a dose three times bigger than introduced to the soil on NPK + S1 s.a. and NPK + S1 o. treatments. Spring wheat was cultivated in each year of the experiment. The sulphur content in the prepared experimental material was assessed by means of ICP-AES method on JY 238 Ultrace apparatus. An average (for three years) total yield of spring wheat (grains, straw and roots) at comparable values of standard error of arithmetic mean for individual treatments was the highest after sulphur application in the form of ammonium sulphate. In comparison with biomass yields from the treatments where a lower sulphur dose was used, either as ammonium sulphate or the waste from magnesium sulphate production, smaller biomass yield was obtained on the treatment where sulphur was applied in a thrice bigger dose. Weighed arithmetic mean of the sulphur content in grains, straw and roots of wheat fertilized with sulphur was significantly higher than the content assessed in wheat biomass not fertilized with this element. Increasing sulphur dose did not cause any significant differences in this element content in wheat biomass.

Key words: fertilization, sulphur, winter wheat