

ODDZIAŁYWANIE NAWOZÓW MINERALNYCH ZAWIERAJĄCYCH SIARKĘ NA WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE GLEBY*

BARBARA FILIPEK-MAZUR¹, MONIKA TABAK, OLGA GORCZYCA, ANETA BOBOWIEC

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

Synopsis. Obecnie większość użytkowanych rolniczo gleb Polski cechuje się niską zawartością siarki siarczanowej, co stanowi jeden z ważniejszych problemów rolnictwa. Niedobór siarki prowadzi do zmniejszenia wielkości i pogorszenia jakości plonów, nadmiar jednak również może być szkodliwy, prowadząc do degradacji środowiska. Celem doświadczenia polowego było określenie wpływu nawożenia siarką na właściwości chemiczne gleby, w tym zawartość różnych form siarki. Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2012–2013 w stacji doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego w położonej w Krakowie-Mydlnikach. Wpływ nawożenia siarką w formie siarczanowej (nawozy: siarczan amonu i Saletrosan® 26) i elementarnej (Wigor S) analizowano w odniesieniu do obiektu kontrolnego bez nawożenia oraz obiektu z nawożeniem jedynie azotem, fosforem i potasem. Nawożenie siarką prowadziło do zwiększenia zakwaszenia gleby. Gleba nawożona zawierała z reguły istotnie więcej azotu ogółem niż gleba nienawożona. Wpływ nawożenia na zawartość siarki ogółem w glebie nie był znaczny, jednak wprowadzenie siarki siarczanowej prowadziło do istotnego statystycznie zwiększenia zawartości siarki siarczanowej w glebie.

Słowa kluczowe: nawozy mineralne, siarka siarczanowa, siarka elementarna, wartość pH, kwasowość hydrolityczna

WSTĘP

Siarka jest pierwiastkiem szeroko rozpowszechnionym w przyrodzie. Nadmiar siarki może prowadzić do degradacji środowiska, natomiast niedobór do ujawnienia się deficytu tego pierwiastka, objawiającego się zmniejszeniem plonów roślin oraz pogorszeniem ich jakości [Klička i in. 2014, Pietrzak 2015]. Do oceny stanu zawartości siarki w glebie, zaopatrzenia roślin w ten składnik oraz zagrożenia agroekosystemów jej nadmiarem wykorzystuje się zawartość siarki ogółem oraz zawartość formy siarczanowej [Kabata-Pendias i in. 1995].

W Polsce, podobnie jak w wielu krajach Europy Środkowej i Zachodniej, od końca XX w. obserwuje się systematyczną redukcję ilości siarki powracającej na powierzchnię upraw [Eurostat]. Obecnie opad siarki z atmosfery na powierzchnię gleby wynosi od kilku do kilkunastu kilogramów na hektar rocznie. Odprowadzanie siarki z plonem oraz straty wynikające z wymywania siarki siarczanowej w głąb gleby, wynoszą od 30 kg do 130 kg·ha⁻¹·rok⁻¹. Przyczynami niedoboru siarki są również: zmniejszenie zużycia nawozów naturalnych i organicznych oraz niskoprocenowych nawozów mineralnych zawierających w swym składzie balast, w tym siarkę [Filipek-Mazur i in. 2017, Pietrzak 2015]. W rezultacie, większość użytkowanych rolniczo gleb

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

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

Polski cechuje się niską zawartością siarki siarczanowej [Monitoring chemizmu...]. Zmniejszająca się zawartość siarki w glebach stanowi jeden z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa [Boreczek 2000, Grzebisz i Przygocka-Cyna 2003, Giweta i in. 2014, Pietrzak 2015, Potarzycki i in. 2015].

Celem badań było określenie wpływu nawożenia siarką, zastosowaną w formie siarczanowej i elementarnej, na właściwości chemiczne gleby, w tym zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2012–2013 w stacji doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego położonej w Krakowie-Mydlnikach (50°09' N, 19°86' E). Eksperyment założono na glebie brunatnej właściwej, zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIb, o składzie granulometrycznym pyłu ilastego. Gleba cechowała się odczynem lekko kwaśnym, wysoką zawartością przyswajalnych form potasu oraz bardzo wysoką zawartością przyswajalnych form fosforu. Stwierdzono niską zawartość siarki siarczanowej oraz siarki ogółem (tab. 1).

Tabela 1. Właściwości gleby przed rozpoczęciem doświadczenia polowego
Table 1. Soil parameters prior to establishing the field experiment

Parametr/Parameter	Jednostka/Unit	Wartość/Value
Skład granulometryczny Granulometric composition	1,0-0,1 mm	12
	0,1-0,02 mm	46
	<0,02 mm	42
pH _{H2O}		7,09
pH _{KCl}		5,96
Kwasowość hydrolityczna Hh/Hydrolytic acidity	mmol(+)-kg ⁻¹ s.m. mmol(+)-kg ⁻¹ DM	12,0
Suma kationów zasadowych S/Sum of basic cations		115
Pojemność sorpcyjna T/Sorption capacity		127
Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego V Degree of sorption complex saturation	%	90,6
C organiczny/Organic C	g·kg ⁻¹ s.m. g·kg ⁻¹ DM	9,82
N ogółem/Total N		1,11
C:N		8,93
P przyswajalny/Available P	mg·kg ⁻¹ s.m. mg·kg ⁻¹ DM	123
K przyswajalny/Available K		109
S ogółem/Total S		180
S siarczanowa/Sulfate S		12,6
N:S		6,30

Doświadczenie polowe prowadzono w układzie losowanych bloków. Obejmowało ono 8 obiektów nawozowych, każdy w 4 powtórzeniach. W eksperymencie zastosowano nawożenie siarką na dwóch poziomach intensywności, w postaci trzech nawozów mineralnych. Dwa z nich: siarczan amonu (24% S) i Saletrosan® 26 (13% S) zawierają siarkę w formie siarczanowej, natomiast trzeci nawóz, Wigor S (90% S), w formie elementarnej. Dawki składników pokarmowych dostosowano do wymagań roślin testowych (tab. 2). Azot zastosowano w formie saletry amonowej (34% N), a w obiektach z nawożeniem siarczanem amonu (21% N) lub Saletrosanem 26 makro (26% N) w formie tych nawozów – z wyrównaniem dawki azotu zawartej w nawozach azotowo-siarkowych przy użyciu saletry amonowej. Fosfor zastosowano w formie superfosfatu wzbogaconego (40% P₂O₅), natomiast potas w postaci soli potasowej (60% K₂O).

Roślinami testowymi były: rzepak jary *Brassica napus* L. odmiany Markus (2012 rok) i pszenica ozima *Triticum aestivum* L. odmiany Wydma (2013 rok). Uprawy chronione były herbicydami i insektycydami według zasad integrowanej ochrony roślin.

Tabela 2. Dawki składników pokarmowych w doświadczeniu polowym (kg·ha⁻¹)
Table 2. Nutrient doses in the field experiment (kg·ha⁻¹)

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

* nawożenie podzielone na dwa terminy/fertilization at two dates

W obu latach badań po zbiorze roślin pobrano próbki gleby z każdego poletka. Próbkę glebowe doprowadzono do stanu powietrznie suchego i przesiano przez sito o średnicy 1 mm. Wartość pH gleby oznaczono metodą potencjometryczną w zawiesinie gleby i roztworu KCl o stężeniu 1 mol·dm⁻³ [Ostrowska i in. 1991]. Oznaczenie wartości kwasowości hydrolytycznej i sumy wymiennych kationów zasadowych wykonano metodą Kappena [Ostrowska i in. 1991]. Ogólną zawartość węgla, azotu i siarki oznaczono na analizatorze CNS vario MAX cube (Elementar Analysensysteme GmbH) [Operating instructions... 2013]. Siarkę siarczanową wyekstrahowano roztworem kwasu octowego o stężeniu 0,03 mol·dm⁻³ [Ostrowska i in. 1991]. Oznaczenie ilościowe siarki siarczanowej wykonano metodą ICP-OES (metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie) na spektrometrze Optima 7300 DV firmy Perkin Elmer.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, przeprowadzając jednoczynnikową analizę wariancji. Istotność zróżnicowania wartości średnich dla poszczególnych obiektów nawozowych określono przy użyciu testu Duncana, przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Do statystycznego opracowania wyników wykorzystano program Statistica 12 (StatSoft, Inc.).

WYNIKI BADAŃ

Odczyn gleby wszystkich obiektów, w obu latach badań, był lekko kwaśny. Wartości pH gleby po I roku doświadczenia mieściły się w przedziale od 5,60 do 6,16. Statystycznie istotne zmniejszenie wartości pH, w porównaniu do gleby obiektu kontrolnego, stwierdzono w glebie nawożonej podwójną dawką siarki w postaci siarczanu amonu i Wigoru S. W drugim roku

badania nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic, a wartości pH mieściły się w przedziale od 5,69 do 6,22 (tab. 3).

Zmiany wartości pH gleby znalazły odzwierciedlenie w wartości kwasowości hydrolitycznej (tab. 3). Po I roku doświadczenia nawożenie zarówno pojedynczą, jak i podwójną dawką siarki w postaci siarczanu amonu i Wigoru S spowodowało istotne zwiększenie wartości kwasowości hydrolitycznej (13,88–17,25 mmol(+) \cdot kg⁻¹ s.m. gleby) w porównaniu do wartości tego parametru w glebie obiektu kontrolnego (9,94 mmol(+) \cdot kg⁻¹ s.m. gleby). Po II roku badań wartość kwasowości hydrolitycznej gleby mieściła się w przedziale od 9,94 mmol do 15,75 mmol(+) \cdot kg⁻¹ s.m. gleby. Jedynie zastosowanie podwójnej dawki siarki w postaci siarczanu amonu i Wigoru S powodowało statystycznie istotne zwiększenie wartości tego parametru glebowego, w porównaniu do wartości oznaczonej w glebie kontrolnej.

Tabela 3. Wartość pH i kwasowości hydrolitycznej (mmol(+) \cdot kg⁻¹ s.m.) gleby
Table 3. Value of pH and hydrolytic acidity (mmol(+) \cdot kg⁻¹ d.m.) of soil

Obiekt/Treatment	pH _{KCl}		Kwasowość hydrolityczna Hydrolytic acidity	
	2012	2013	2012	2013
Brak nawożenia (kontrola)/No fertilization (control)	6,16 a*	6,22 a	9,94 d	10,25 b
NPK	5,98 ab	5,96 a	11,25 cd	14,25 ab
NPK + S1** (siarczan amonu/ammonium sulfate)	5,82 abc	5,89 a	14,63 ab	13,25 ab
NPK + S1 (Saletrosan® 26)	6,06 ab	6,19 a	10,75 d	9,94 b
NPK + S1 (Wigor S)	5,78 abc	6,02 a	13,88 bc	12,50 ab
NPK + S2 (siarczan amonu/ammonium sulfate)	5,60 c	5,72 a	17,25 a	15,56 a
NPK + S2 (Saletrosan® 26)	6,07 ab	6,13 a	11,25 cd	12,50 ab
NPK + S2 (Wigor S)	5,68 bc	5,69 a	16,88 a	15,75 a

* wartości średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$; według testu Duncana/mean values in the columns marked with the same letters do not differ statistically significantly at the significance level $\alpha \leq 0.05$; according to Duncan's test

** S1: pojedyncza dawka siarki/single dose of sulfur; S2: podwójna dawka siarki/double dose of sulfur

Po I roku doświadczenia wartość sumy kationów zasadowych wynosiła od 99,2 mmol do 133,8 mmol(+) \cdot kg⁻¹ s.m. gleby (tab. 4). W porównaniu do wartości stwierdzonej w glebie obiektu kontrolnego, zastosowanie nawożenia spowodowało statystycznie istotne zmniejszenie wartości sumy kationów zasadowych w glebie (istotnie najmniejszą wartością cechowała się gleba nawożona obiema dawkami siarczanu amonu i pojedynczą dawką Saletrosanu® 26). Po II roku badań wartości sumy kationów zasadowych w glebie były znacznie mniejsze (od 58,0 mmol do 92,7 mmol(+) \cdot kg⁻¹ s.m. gleby) i statystycznie zróżnicowane między obiektami doświadczenia.

Wartość pojemności sorpcyjnej gleby była wynikiem zmian wartości kwasowości hydrolitycznej i sumy kationów zasadowych i zależała od formy aplikowanej siarki i jej dawki (tab. 4). Po I roku doświadczenia istotnie największą wartością pojemności sorpcyjnej cechowała się gleba nienawożona (143,8 mmol(+) \cdot kg⁻¹s.m.), a zastosowane nawożenie obniżyło wartość pojemności sorpcyjnej o 9–21%. Po II roku badań, przy bezwzględnie mniejszych wartościach tego parametru, zależności pomiędzy glebą poszczególnych obiektów były podobne, jak po I roku.

Tabela 4. Wartość sumy kationów zasadowych i pojemności sorpcyjnej ($\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby kationami zasadowymi (%)
 Table 4. Value of sum of basic cations and sorption capacity ($\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ DM) as well as of degree of soil sorption complex saturation (%)

Objekt/Treatment	Suma kationów zasadowych Sum of basic cations		Pojemność sorpcyjna Sorption capacity		Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego Degree of soil sorption complex saturation	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Brak nawożenia (kontrola) No fertilization (control)	133,8 a*	92,7 a	143,8 a	102,9 a	93,1 a	90,0 a
NPK	118,3 b	82,2 ab	129,6 bc	96,4 ab	91,3 ab	85,2 abc
NPK + S1** (siarczan amonu/ ammonium sulfate)	99,2 e	66,1 cd	113,9 e	79,4 cd	87,1 cd	83,3 bcd
NPK + S1 (Saletrosan® 26)	107,7 cde	76,1 bc	118,5 de	86,0 bcd	90,9 ab	88,4 ab
NPK + S1 (Wigor S)	116,8 bc	75,0 bc	130,7 b	87,5 bc	89,4 bc	85,4 abc
NPK + S2 (siarczan amonu/ ammonium sulfate)	103,6 de	62,4 d	120,8 cde	78,0 cd	85,7 d	80,1 cd
NPK + S2 (Saletrosan® 26)	111,0 bcd	83,1 ab	122,2 bcde	95,6 ab	90,8 ab	86,9 ab
NPK + S2 (Wigor S)	109,4 bcd	58,0 d	126,3 bcd	73,7 d	86,6 d	78,6 d

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

Stopień wysycenia gleby zasadami przyjmował wartości większe w glebie po I roku doświadczenia (86–93%) niż po II roku badań (79–90%) (tab. 4). Wartość tego parametru wskazuje na korzystne, z punktu widzenia potrzeb roślin, warunki glebowe.

W 2012 roku zawartość węgla organicznego w glebie wynosiła 10,9–12,2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby (tab. 5). W porównaniu do gleby obiektów kontrolnego i nawożonego nawozami mineralnymi bez siarki, w glebie z pojedynczą dawką siarki w postaci siarczanowej stwierdzono istotnie więcej węgla organicznego. W 2013 roku zawartość węgla organicznego w glebie wszystkich obiektów była mniejsza (9,80–11,2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), przy czym podobnie jak po I roku trwania eksperymentu, najczęściej stwierdzono go w glebie obiektów z pojedynczą dawką siarki siarczanowej (siarczan amonu i Saletrosan® 26).

W okresie prowadzenia doświadczenia zawartość azotu ogółem w glebie obiektu kontrolnego była z reguły istotnie mniejsza niż w glebie nawożonej (tab. 5). Po I roku badań zawartość azotu ogółem w glebie obiektów nawożonych siarką nie różniła się istotnie statystycznie. Największą zawartość azotu ogółem stwierdzono w glebie nawożonej wyłącznie NPK (1,15 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) oraz glebie nawożonej obiema dawkami Saletrosanu® 26 i podwójną dawką Wigor S (1,10–1,12 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.); gleba nienawożona zawierała 1,01 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Po II roku badań zawartość tego składnika w glebie była mniejsza (0,75–0,95 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Ponownie największą zawartość azotu ogółem oznaczono w glebie nawożonej podwójną dawką Saletrosanu® 26 i Wigor S.

Badana gleba charakteryzowała się niską zawartością siarki ogółem (tab. 6). Po I roku doświadczenia zastosowane nawożenie miało niewielki wpływ na poziom tego pierwiastka w glebie – zawartość siarki ogółem wynosiła 168,8–191,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. gleby. Największą zawartość

Tabela 5. Zawartość węgla organicznego i azotu ogółem ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) oraz wartość stosunku C:N w glebie
 Table 5. Content of organic carbon and total nitrogen ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) as well as value of C:N ratio in soil

Obiekt/Treatment	Węgiel organiczny Organic carbon		Azot ogółem Total nitrogen		C:N	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Brak nawożenia (kontrola) No fertilization (control)	11,0 cd*	10,6 abc	1,01 d	0,75 d	10,9	14,1
NPK	11,0 cd	10,1 bc	1,15 b	0,87 abc	9,6	11,6
NPK + S1** (siarczanu amonu/ ammonium sulfate)	12,2 a	11,0 a	1,10 c	0,89 abc	11,1	12,4
NPK + S1 (Saletrosan® 26)	12,0 ab	11,2 a	1,10 bc	0,80 cd	10,9	14,0
NPK + S1 (Wigor S)	11,7 abcd	10,1 bc	1,07 c	0,85 bc	10,9	11,9
NPK + S2 (siarczanu amonu/ ammonium sulfate)	10,9 d	9,80 c	1,09 c	0,85 bc	10,0	11,5
NPK + S2 (Saletrosan® 26)	11,7 abcd	10,2 bc	1,10 bc	0,93 ab	10,6	11,0
NPK + S2 (Wigor S)	11,2 bcd	10,9 ab	1,12 bc	0,95 a	10,0	11,5

*, ** jak w tabeli 3 – as in Table 3

Tabela 6. Zawartość siarki ogółem i siarki siarczanowej ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) oraz wartość stosunku C:S w glebie

Table 6. Content of total sulfur and sulfate sulfur ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) as well as value of C:S ratio in soil

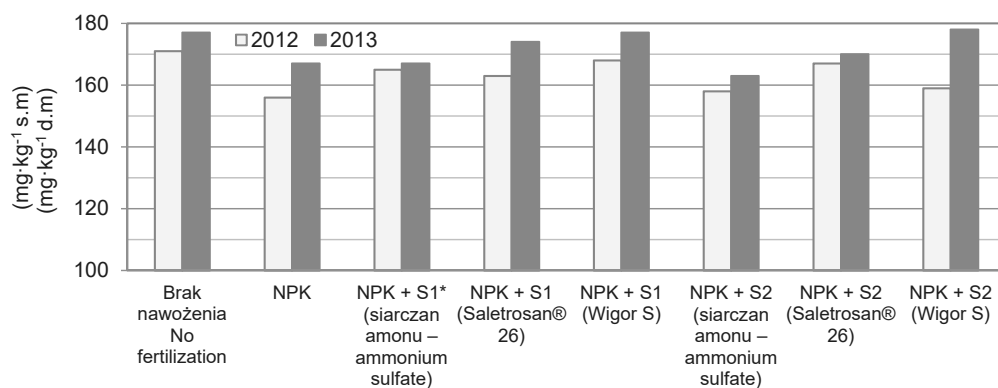
Obiekt/Treatment	Siarka ogółem Total sulfur		Siarka siarczanowa Sulfate sulfur		C:S	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Brak nawożenia (kontrola) No fertilization (control)	185,9 ab*	186,8 a	14,43 ef	9,4 d	59,2	56,7
NPK	168,8 d	174,9 a	12,96 f	7,7 e	65,2	57,7
NPK + S1** (siarczanu amonu/ ammonium sulfate)	182,5 ab	176,6 a	17,47 cd	9,8 cd	66,8	62,3
NPK + S1 (Saletrosan® 26)	180,8 bc	184,1 a	18,25 bc	10,5 c	66,4	60,8
NPK + S1 (Wigor S)	183,8 ab	185,0 a	15,96 de	8,0 e	63,7	54,6
NPK + S2 (siarczanu amonu/ ammonium sulfate)	178,1 bc	178,2 a	19,75 b	15,6 a	61,2	55,0
NPK + S2 (Saletrosan® 26)	191,2 a	183,8 a	23,83 a	14,2 b	61,2	55,5
NPK + S2 (Wigor S)	173,2 cd	188,0 a	14,67 ef	10,1 cd	64,7	58,0

*, ** jak w tabeli 3 – as in Table 3

siarki (a jednocześnie zbliżoną do stwierdzonej w glebie kontrolnej) oznaczono w glebie nawożonej podwójną dawką Saletrosanu® 26 oraz pojedynczą dawką siarczanu amonu i Wigoru S. Po II roku badań poziom siarki ogółem w glebie był jeszcze bardziej wyrównany (od 174,9 mg do 188,0 mg·kg⁻¹ s.m.), bez statystycznego zróżnicowania między obiektami.

Zawartość siarki siarczanowej w glebie mieściła się w przedziale od 13,0 mg do 23,8 mg·kg⁻¹ s.m. gleby po I roku doświadczenia i od 7,7 mg do 15,6 mg·kg⁻¹ s.m. gleby po II roku doświadczenia, a więc była niska w całym okresie trwania badań (tab. 6). W obu latach badań zawartość siarki siarczanowej istotnie zależała od zastosowanego nawożenia. Najmniej tej formy siarki stwierdzono w glebie obiektu nawożonego nawozami mineralnymi bez siarki. Istotne zwiększenie zawartości siarki siarczanowej w glebie, w porównaniu do zawartości w glebie obiektu kontrolnego, wykazano w obiektach nawożonych siarką siarczanową. Po aplikacji podwójnej dawki było to nawet dwukrotne zwiększenie zawartości w porównaniu z obiektem nawożonym wyłącznie NPK.

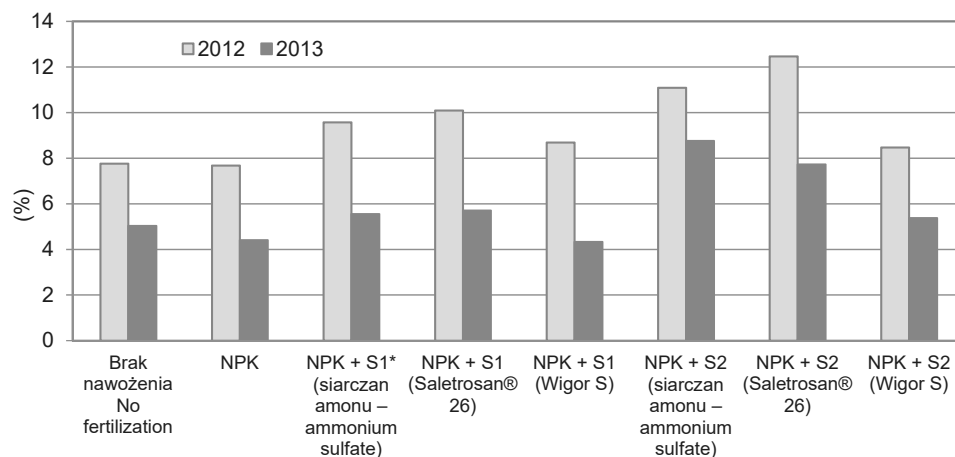
Zawartość siarki organicznej w glebie wyliczono jako różnicę pomiędzy zawartością siarki ogólnej i siarki siarczanowej. Stwierdzono niewielkie zmiany w obrębie zawartości tej formy siarki (rys. 1). W całym okresie prowadzenia badań zawartość siarki organicznej w glebie przyjmowała wartości w zakresie 156–178 mg·kg⁻¹ s.m. gleby. Po I roku doświadczenia w glebie wszystkich obiektów nawożonych wykazano zmniejszenie zawartości siarki organicznej, w porównaniu do zawartości w glebie obiektu kontrolnego. Najmniejszą zawartość siarki organicznej stwierdzono w glebie obiektu nawożonego wyłącznie NPK. W glebie pobranej po II roku badań stwierdzono nieco większą zawartość siarki organicznej w porównaniu do zawartości w glebie po I roku trwania eksperymentu. Zależności pomiędzy obiektami były podobne.



* S1: pojedyncza dawka siarki / single dose of sulfur; S2: podwójna dawka siarki / double dose of sulfur

Rys. 1. Zawartość siarki organicznej w glebie
Fig. 1. Content of organic sulfur in soil

Zawartość siarki siarczanowej po I roku badań stanowiła 8–12% zawartości siarki ogółem, a po II roku udział ten zmniejszył się do 4–9% (rys. 2). Największe wartości udziału zawartości siarki siarczanowej w siarce ogółem stwierdzono w obu latach w glebie nawożonej podwójną dawką siarki siarczanowej w postaci siarczanu amonu i Saletrosanu® 26.



* jak na rysunku 1 – as in Fig. 1

Rys. 2. Udział zawartości siarki siarczanowej w zawartości siarki ogółem w glebie
Fig. 2. Share of sulfate sulfur content in total sulfur content in soil

DYSKUSJA

Zastosowanie w badaniach własnych nawozów mineralnych spowodowało zwiększenie zakwaszenia gleby oraz zmiany wartości kwasowości hydrolitycznej, zróżnicowane w zależności od dawki siarki i formy nawozów. Saletrosan® 26 w najmniejszym stopniu wpłynęła na stan zakwaszenia gleby. Gryzełko i Filipek-Mazur [2008], na podstawie dwuletniego doświadczenia wazonowego, w którym badano wpływ nawozów zawierających siarkę tj.: siarczanu amonu, saletrzaku z siarką i saletrosiarczanu amonu 26:13 (N:S) na właściwości fizykochemiczne gleby stwierdziły, że nawożenie mineralne (zarówno z dodatkiem siarki, jak i NPK bez siarki) spowodowało zwiększenie wartości kwasowości hydrolitycznej i zmniejszenie wartości pH gleby, które nasilało się wraz z upływem czasu, czego w badaniach własnych nie wykazano. Lemanowicz [2013] po przeprowadzeniu cztero-letniego doświadczenia polowego, również wskazuje na zwiększającą się wartość kwasowości hydrolitycznej i zmniejszającą się wartość pH gleby nawożonej nawozami mineralnymi z dodatkiem siarki. Podobne wyniki prezentują Skwierawska i Zawartka [2009].

Zmiany wartości pojemności sorpcyjnej gleby były wynikiem zmian wartości kwasowości hydrolitycznej i sumy kationów zasadowych i zależały od formy i dawki aplikowanej siarki oraz roku badań. W doświadczeniu przeprowadzonym przez Szymańską i in. [2007], na wybranych obiektach trwałego doświadczenia z wyłącznym nawożeniem mineralnym (bez wapnowania), stwierdzono zmniejszenie pojemności kompleksu sorpcyjnego o ponad 14% w stosunku do obiektu z CaNPK. Zaniechanie nawożenia również obniżało wielkość pojemności kompleksu sorpcyjnego gleby, co nie znalazło potwierdzenia w badaniach własnych, gdyż pojemność sorpcyjna gleby obiektu kontrolnego przyjmowała największe wartości w obu latach badań. W badanej glebie nastąpiło obniżenie sumarycznej zawartości kationów zasadowych, co było skutkiem zakwaszającego działania zastosowanego nawożenia. Badania Jakubus i Grzebisza

[1994] oraz Lemanowicz [2013] wskazują na zmniejszanie sumy zasad i tym samym stopnia wysycenia kompleksu zasadami w glebach silniej zakwaszonych. Potwierdza to również w swoich badaniach Małek i in. [2014], którzy zaobserwowali zwiększenie sumy zasad wraz ze zwiększającą się wartością pH gleby.

W badaniach własnych zawartość węgla organicznego i azotu ogółem w glebie oraz zmiany zawartości węgla i azotu w czasie zależały od rodzaju i dawki zastosowanego nawozu. Wartości stosunku zawartości węgla organicznego do azotu ogółem w glebie wskazywały na intensywną mineralizację organicznych związków azotu. Tabak i in. [2014] uzyskały podobne wyniki, badając wpływ nawożenia z udziałem siarki na zawartość azotu i siarki w glebie. Wykazano istotne zwiększenie zawartości azotu ogólnego oraz siarki (zwłaszcza siarczanowej) w glebie po zastosowaniu nawozów mineralnych zawierających siarkę w formie siarczanowej.

Zawartość siarki ogółem w badanej glebie, po zakończeniu eksperymentu, była niska i nie zależała od zastosowanego nawożenia. Stwierdzenie to nie potwierdza wyników badań Kulczyckiego [2007], który uzyskał zwiększenie zawartości siarki ogółem w efekcie nawożenia uwzględniającego aplikację siarki w formie elementarnej i siarczanowej. Większe zróżnicowanie, w badaniach własnych, dotyczyło zawartości siarki siarczanowej w glebie. Istotne zwiększenie zawartości tej formy siarki w glebie, w porównaniu do zawartości w glebie obiektu kontrolnego, wykazano w obiektach nawożonych siarką siarczanową. Po aplikacji podwójnej dawki siarki było to dwukrotne zwiększenie zawartości, w porównaniu z obiektem nawożonym wyłącznie NPK. Podobne zależności wykazali Jakubus i Tobała [2006] oraz Kulczycki [2007]. Również Siwik-Ziomek i in. [2013] oznaczali z reguły większą zawartość siarczanowej i ogólnej formy siarki po zastosowaniu nawożenia mineralnego uzupełnionego o ten składnik.

Ocenę zawartości gleby w siarkę umożliwiają kryteria opracowane przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach [Kabata-Pendias i in. 1995]. Przed założeniem doświadczenia gleba charakteryzowała się niską naturalną zawartością siarki ogółem i siarki siarczanowej. Pomimo stwierdzonych zmian zawartości tego pierwiastka w glebie, w trakcie prowadzenia doświadczenia nie zmienił się stopień zasobności gleby w siarkę. Kopeć i Gondek [2004] w badaniach nad wpływem długotrwałego systematycznego nawożenia mineralnego na różnicowanie środowiska glebowego łąki górskiej wykazali ujemny bilans siarki w glebie. Do oceny zawartości siarki w glebie służy również wartość stosunku zawartości utlenialnego węgla organicznego ogółem do zawartości siarki ogółem. Wartość tego parametru wskazywała na względny niedobór siarki w glebie. Rejman-Czajkowska [1973 za Stevensonem 1964] proponuje przyjęcie wartości stosunku C:S = 50 za wielkość krytyczną, od której należałoby liczyć się z możliwością wystąpienia względnego niedoboru siarki w glebie. W badaniach własnych wartość stosunku zawartości węgla organicznego do zawartości siarki ogółem uległa zawężeniu, co wskazuje na korzystny wpływ zastosowanego nawożenia. Podobne rezultaty osiągnęli w doświadczeniu polowym z kukurydzą Tabak i in. [2011]. Gryzełko i Filipek-Mazur [2008] wykazały, że wartość stosunku zawartości węgla do siarki w glebie z dodatkiem nawozów zawierających siarkę był węższy niż w glebie nienawożonej i nawożonej mineralnie (bez dodatku siarki).

WNIOSKI

1. Nawożenie siarką w postaci siarczanu amonu i Wigoru S (zwłaszcza w podwójnej dawce) powodowało istotne zwiększenie zakwaszenia gleby doświadczenia polowego w odniesieniu do gleby nienawożonej, a czasami także gleby nawożonej nawozami mineralnymi bez siarki.

2. Zastosowanie nawożenia z reguły spowodowało istotne zmniejszenie wartości sumy kationów zasadowych i pojemności sorpcyjnej gleby. Najmniejsza wartość stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi cechowała glebę o największym zakwaszeniu (a więc nawożoną siarczanem amonu i Wigorem S).
3. Gleba nawożona zawierała z reguły istotnie więcej azotu ogółem niż gleba nienawożona, natomiast wpływ nawożenia na zawartość siarki ogółem w glebie z reguły nie był istotny. Nawożenie siarką siarczanową w postaci siarczanu amonu i Saletrosanu 26 makro (zwłaszcza w podwójnej dawce) prowadziło do istotnego zwiększenia zawartości siarki siarczanowej w glebie.

PIŚMIENNICTWO

- Boreczek B. 2000. Czy istnieje problem niedoborów siarki w żywieniu roślin? *Biul. Informacyjny IUNG* 12: 25–28.
- Eurostat. <http://ec.europa.eu>
- Filipek-Mazur B., Tabak M., Gorczyca O. 2017. Siarka w glebach województwa małopolskiego – ocena zasobności i modelowanie zawartości pierwiastka w glebach. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 17(2): 51–68.
- Giweta M., Dyck M.F., Malhi S.S., Puurveen D., Robertson J.A. 2014. Long-term S-fertilization increases carbon sequestration in a sulfur-deficient soil. *Can. J. Soil Sci.* 94: 295–301.
- Gryzelko M., Filipek-Mazur B. 2008. Changes of physicochemical properties of soil as a result of applying fertilizers containing sulphur. *Ecol. Chem. Eng.* 15(10): 1067–1073.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K. 2003. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization* 4(17): 64–77.
- Jakubus M., Grzebisz W. 1994. Effect of acidification on base cation exchange capacity of two grey-brown podzolic soils under different fertilization management for 36 years. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 413: 141–146.
- Jakubus M., Toboła P. 2006. Wpływ nawożenia rzepaku ozimego wzrastającymi dawkami gipsu na zawartość siarki w glebie oraz roślinie. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 27(2): 251–263.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch Cz. 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. *Metale ciężkie siarka i WWA. Bibl. Monit. Środ. PIOŚ, IUNG, Warszawa*, ss.41.
- Klikocka H., Juszcak D., Głowacka A., Cybulska M., Kozłowski H. 2014. Wpływ uprawy roli i nawożenia siarką na komponenty plonu pszenżyta jarego. *Fragm. Agron.* 31(4): 47–57.
- Kopeć M., Gondek K. 2004. Wpływ długotrwałego zróżnicowanego nawożenia na zawartość siarki w glebie i runi łąki górskiej. *Nawozy i Nawożenie/Fertilizers and Fertilization* 1: 62–74.
- Kulczycki G. 2007. Wpływ siarki siarczanowej i elementarnej na plon i właściwości chemiczne gleby. *Fragm. Agron.* 24(1): 140–149.
- Lemanowicz J. 2013. Mineral fertilisation as a factor determining selected sorption properties of soil against the activity of phosphatases. *Plant Soil Environ.* 59: 439–445.
- Małek S., Januszek K., Keeton W.S., Barszcz J., Kroczek M., Błońska E., Wanic T. 2014. Preliminary effects of fertilization on ecochemical soil condition in mature spruce stands experiencing dieback in the Beskid Śląski and Żywiecki Mountains, Poland. *Water, Air, Soil Pollution* 225(6): 1971.
- Monitoring chemizmu gleb ornych Polski (www.gios.gov.pl/chemizm_gleb)
- Operating instructions vario MAX cube analyzer. 2013. *Elementar Analysensysteme GmbH*. Version 12.11.2013.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 333.
- Pietrzak S. 2015. Zawartość siarki w glebach użytków zielonych w Polsce w latach 2009–2011. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 15(2): 97–113.

- Potarzycki J., Przygocka-Cyna K., Wendel J., Biniek Ł., Ridiger B. 2015. Wpływ nawożenia siarką na plonowanie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 32(4): 63–72.
- Rejman-Czajkowska M. 1973. Zawartość i rozmieszczenie siarki w glebach wytworzonych z gliny lekkiej. *Rocz. Glebozn.* 24(2): 201–229.
- Siwik-Ziomek A., Lemanowicz J., Koper J. 2013. Arylsulphatase activity and the content of total sulphur and its forms under the influence of fertilisation with nitrogen and other macroelements. *J. Elem.* 18(3): 437–447.
- Skwierawska M., Zawartka L. 2009. Zmiany kwasowości gleby i plonowania roślin pod wpływem nawożenia siarką. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 538: 221–229.
- Szymańska M., Łabętowicz J., Korc M. 2007. Procentowy udział kationów wysycających kompleks sorpcyjny jako wskaźnik do oceny jakości gleb. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 520(1): 181–187.
- Tabak M., Filipek-Mazur B., Gorczyca O. 2014. Wpływ nawozów zawierających siarkę na zawartość azotu i siarki w glebie oraz liczebność drobnoustrojów. *Zesz. Nauk. Pol.-Wsch. Oddziału PTIE w Rzeszowie i PTG Oddział w Rzeszowie* 18: 131–132.
- Tabak M., Filipek-Mazur B., Mazur K. 2011. Zawartość siarki w kukurydzy i glebie nawożonej materiałami organicznymi. Cz. II. Zawartość siarki w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 565: 365–371.

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

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS CONTAINING SULFUR ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES

Summary

Nowadays in Poland most soils of agricultural use are characterized by low content of sulfate sulfur, which is one of the biggest problems of agriculture. Sulfur deficiency lowers yield quantity and quality, but the excess of sulfur can also be harmful and lead to environmental degradation. The aim of the field experiment was to assess the influence of sulfur fertilization on soil chemical properties, including the content of different sulfur forms. The field experiment was conducted in the years 2012–2013 at the experimental station of the University of Agriculture, located in Krakow-Mydlniki. The effect of fertilization with sulfur in the form of sulfate (fertilizers: ammonium sulfate and Saletrosan® 26) and in the elemental form (Wigor S) was analyzed with reference to the control treatment without fertilization and to the treatment fertilized only with nitrogen, phosphorus and potassium. Fertilization with sulfur-containing fertilizers led to an increase in soil acidification. As a rule, the fertilized soil contained significantly more nitrogen than the soil without fertilization. The effect of fertilization on the total sulfur content in the soil was not significant, but application of the sulfate form of the element led to a statistically significant increase in the sulfate sulfur content in the soil.

Key words: mineral fertilizers, sulfate sulfur, elemental sulfur, pH, hydrolytic acidity

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.06.2018

Do cytowania – *For citation*

Filipek-Mazur B., Tabak M., Gorczyca O., Bobowiec A. 2018. Oddziaływanie nawozów mineralnych zawierających siarkę na właściwości chemiczne gleby. *Fragm. Agron.* 35(3): 55–65.