

Wiesław Szulc, Beata Rutkowska, Jan Łabętowicz

**Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej w profilu
glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby**

The content of total sulphur and sulphate sulphur in soil profile in conditions of different soil
cultivation systems

Abstract. The aim of the paper was the presentation of the total sulphur and sulphate sulphur content in soil profile under differentiated soil cultivation conditions. The studies were carried out in the two long-term field experiments in Chylice. The soil of the experiment field is Mollic Gleysols. The experiments contained 5 different soil tillage systems: deep ploughing (40 cm) once per 5 years, ploughing at 25 cm, skimming (15 cm), ploughing at 25 cm and liming, direct sowing and liming. The soil samples were collected from 3 depths of soil profile: 0–15 cm, 15–30 cm and 30–45 cm. The total sulphur content in the soil by LECO 2000 apparatus and sulphate sulphur content in the soil after extraction in $0.03 \text{ mol dm}^{-3} \text{ CH}_3\text{COOH}$ by ICP method, and organic carbon content in soil by LECO 2000 apparatus were determined. The highest content of total sulphur in the soil was observed in conditions of direct sowing (0.30 g kg^{-1}), and the smallest content of this element in the soil was determined in conditions of ploughing at 15 cm (0.21 g kg^{-1}). The highest content of total sulphur in soil always characterized the top layer of soil (0–15 cm). The content of total sulphur in the soil decreased with the depth of soil profile. The content of sulphate sulphur in the soil average at about 30 mg kg^{-1} regardless utilized soil tillage system. The highest content of S-SO₄ was observed in the soil with the deep ploughing, and the smallest content of sulphate sulphur in the soil was observed in conditions of direct sowing. The share of S-SO₄ in the total sulphur content in the soil ranged from 9 to 15%.

KEY WORDS: total sulphur, sulphate sulphur, soil tillage

Siarka jest niezbędnym do prawidłowego rozwoju organizmów żywych składnikiem pokarmowym, w stosunku do którego wymagania pokarmowe roślin zbliżone są jak w stosunku do fosforu [Scherer 2001]. Pomimo tak istotnego znaczenia siarki dla organizmów żywych aż do lat 80. ubiegłego stulecia pierwiastkowi temu nie poświęcano uwagi w badaniach rolniczych, a także nie brano go pod uwagę przy ustalaniu potrzeb nawozowych roślin. Przyczyna tego faktu tkwiła przede wszystkim w systematycznie wzrastającej w tym okresie emisji SO₂ pochodzenia przemysłowego do atmosfery [Bloem 1998]. Na uwagę zasługuje fakt, że w ciągu ostatnich lat emisja związków siarki do atmosfery uległa wyraźnej redukcji, w związku z czym w wielu krajach, w tym także w Polsce, pojawiają się niedobory tego pierwiastka w produkcji roślinnej [Morris 1987; Motowicka-Terelak, Terelak 2000].

Zdolność gleby do zaspokajania wymagań pokarmowych roślin w stosunku do siarki uzależniona jest od ilości i dostępności różnych, zarówno nieorganicznych, jak i organicznych form tego pierwiastka. Praktycznie jedynym dostępnym w glebie źródłem siarki dla roślin są siarczany [Ensminger, Freney 1996]. Siarczany są tą formą, która w zależności od typu gleby, jej właściwości, warunków klimatycznych, zabiegów uprawowych, emisji siarki do atmosfery oraz opadów atmosferycznych może łatwo ulegać wymyciu w ilościach od kilku do nawet 300 kg S ha⁻¹ rok⁻¹ [Freney, Stevenson 1966; Wu i in. 1993]. Dane te wskazują, że w glebie musi istnieć i inne źródło siarki dostępnej dla roślin, dzięki któremu rośliny będą mogły zaspokoić swoje potrzeby pokarmowe. Podstawowym źródłem zapasowym siarki w glebie jest siarka organiczna, która po mineralizacji staje się dostępna dla roślin. Mineralizacja połączona jest nierozdzielnie z procesem immobilizacji, czyli wbudowywania mineralnych form siarki w biomase mikroorganizmów glebowych. Trwałość i stabilność związków organicznych siarki w glebie uzależniona jest od wielu czynników, między innymi od wapnowania i kierunku użytkowania oraz intensywności uprawy gleby. Wapnowanie wpływa na wzrost aktywności mikrobiologicznej w glebie, przez co następuje przyspieszenie tempa mineralizacji materii organicznej i tym samym uruchamianie do gleby siarczanów. Za duża ilość wapnia stwarza natomiast warunki do wytrącania się w glebie gipsu, przez co zmniejsza dostępność siarki [Freney, Stevenson 1966; Haynes, Swift 1988]. Drugim czynnikiem wpływającym na procesy mineralizacji-immobilizacji organicznych połączeń siarki jest kierunek użytkowania i intensywność uprawy gleby – z reguły tempo mineralizacji jest większe na terenach uprawnych niż na glebach odłogowanych [Stevenson 1986; Haynes, Williams 1992].

Celem przedstawionej pracy było prześledzenie zmian zawartości siarki ogółem oraz siarki siarczanowej i organicznej w profilu glebowym, jakie wystąpiły po okresie ponad 40 lat stosowania zróżnicowanych zabiegów uprawowych.

METODY

Badania prowadzono opierając się na dwu wieloletnich doświadczeniach polowych, założonych w roku 1960 na polu doświadczalnym Katedry Agronomii SGGW w Chylicach. Doświadczenia zostały założone na czarnej ziemi tzw. błońskiej, wytworzonej z gliny zwałowej lekkiej pylastej odgórnie spiaszczonej, według FAO zaliczanej do typu Mollic Gleysols. Poziom próchniczny tych gleb ma miąższość około 30–35 cm. Gleba pola doświadczalnego zawiera 25–27% części spławialnych i $12,8 \text{ g kg}^{-1}$ C organicznego. W doświadczeniach analizowano zawartość siarki w glebie w zależności od różnych sposobów orki: orka raz na 5 lat na 40 cm, orka na 25 cm co roku, orka na 15 cm co roku, orka na 25 cm co roku + wapnowanie, siew bezpośredni + wapnowanie. Obydwa doświadczenia prowadzono w płodozmianie pięciopolowym, stosując w każdej rotacji 30 t obornika na 1 ha. Wapnowanie stosowano co 4 lata wg 1,5 Hh w formie CaO.

Gleby do analiz pobierano z trzech głębokości w profilu glebowym: 0–15 cm, 15–30 cm, 30–45 cm. W próbach glebowych, po wysuszeniu w temp. 55°C , oznaczono: zawartość siarki ogółem metodą suchej destylacji przy użyciu aparatu LECO 2000 i zawartość siarki siarczanowej po ekstrakcji w CH_3COOH o stężeniu $0,03 \text{ mol dm}^{-3}$, metodą ICP oraz zawartość węgla organicznego metodą suchej destylacji przy wykorzystaniu aparatu LECO 2000. Zawartość siarki organicznej w glebie wyliczono z różnicy pomiędzy ogólną zawartością siarki oraz zawartością S-SO₄ w glebie.

WYNIKI

W analizowanym doświadczeniu stosowanie zróżnicowanych sposobów uprawy gleby wpływało na zawartość siarki ogółem w profilu glebowym. Średnia zawartość siarki w glebie, stwierdzona w doświadczeniu, wahała się od $0,21$ do $0,30 \text{ g kg}^{-1}$. Czarne ziemie charakteryzują się wysoką, jak na warunki Polski, zawartością siarki ogółem, tj. od $0,11$ do $1,70 \text{ g kg}^{-1}$, ze średnią geometryczną $0,36 \text{ g kg}^{-1}$ [Motowicka-Terelak, Terelak 1998]. Wiąże się to przede wszystkim z dużą zasobnością czarnych ziem w próchnicę, która jest zarówno źródłem siarki w glebie, jak i adsorbentem jonów siarczanowych, dopływających z zewnątrz [Johnson 1984]. Największą średnią zawartość siarki ogółem w profilu glebowym ($0,30 \text{ g kg}^{-1}$ gleby) oznaczono w warunkach siewu bezpośredniego (tab. 1). Jednocześnie w warunkach ograniczenia uprawy obserwuje się największe nagromadzenie węgla organicznego w glebie (tab. 2). Podobnie jak w przypadku siarki ogółem, wraz ze wzrostem zawartości materii organicznej wzrastała

ilość organicznych związków siarki w glebie (tab. 1). Największa zawartość siarki organicznej w glebie ($272,8 \text{ mg kg}^{-1}$) występowała w warunkach siewu bezpośredniego, najmniejsza natomiast ($180,2 \text{ mg kg}^{-1}$) w warunkach orki wykonywanej każdego roku na głębokość 15 cm (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość różnych form siarki w glebie
Table 1. Content of different forms of sulphur in soil

System uprawy* Cultivation system*	Głębokość w profilu glebowym Soil depth	S ogółem Total S	S org. Organic S	S-SO ₄	S-SO ₄ /Sog. S-SO ₄ /Stot.
	cm	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		%
Co rok na gł. 15 cm Every year at 15 cm	0-15	0,26	224,0	36,0	13,8
	15-30	0,22	199,9	30,1	13,7
	30-45	0,15	126,8	23,2	15,5
Średnio Mean		0,21	180,23	29,77	14,33
Co rok na gł. 25 cm Every year at 25 cm	0-15	0,25	211,0	39,0	15,6
	15-30	0,23	201,1	28,9	12,6
	30-45	0,17	149,6	20,4	12,0
Średnio Mean		0,22	190,47	29,43	13,4
Co 5 lat na gł. 40 cm Once per 5 years at 40 cm	0-15	0,25	211,1	38,9	15,6
	15-30	0,21	175,2	34,8	16,6
	30-45	0,20	172,0	28,0	14,0
Średnio Mean		0,22	186,10	33,90	15,40
Co rok na gł. 25 cm + CaO Every year at 25 cm + CaO	0-15	0,28	244,0	36,0	12,9
	15-30	0,25	219,9	30,1	12,0
	30-45	0,23	203,1	26,9	11,7
Średnio Mean		0,25	219,00	31,00	12,2
Siew bezpośredni + CaO Direct sowing + CaO	0-15	0,37	340,2	29,8	8,1
	15-30	0,32	292,5	27,5	8,6
	30-45	0,22	145,7	24,3	11,0
Średnio Mean		0,30	272,80	27,20	9,23

* CaO – wapnowanie liming

Praktycznie jedynym dostępnym dla roślin źródłem siarki w glebie są siarczany. Z dotychczasowych badań nad występowaniem tej formy siarki wynika, że o ilości łatwo rozpuszczalnych siarczanów w profilu glebowym decyduje przede wszystkim zawartość materii organicznej oraz obecność minerałów siarkowych lub tlenków żelaza i glinu, posiadających zdolność do absorbowania jonów siarczanowych [Eriksen i in. 1998]. W analizowanym doświadczeniu największą ilość S-SO₄ w glebie (ok. 34 mg kg^{-1}) stwierdzono w warunkach orki głębokiej wykonywanej co pięć lat, najmniejszą zawartością siarczanów ($27,2 \text{ mg kg}^{-1}$) charakteryzowała się kombinacja, w której stosowano siew bezpośredni (tab. 1).

Tabela 2. Zawartość siarki ogółem i węgla organicznego oraz stosunek węgla do siarki w glebie
 Table 2. The content of total sulphur, organic carbon and relationship between C and S in soil

System uprawy* Cultivation system*	Głębokość w profilu glebowym Soil depth cm	S ogółem Total S g kg ⁻¹	C org. Organic carbon g kg ⁻¹	C:S
Co rok na gł. 15 cm Every year at 15 cm	0-15	0,26	12,3	47,3
	15-30	0,22	8,3	37,7
	30-45	0,15	4,0	26,7
Średnio Mean		0,21	8,20	37,2
Co rok na gł. 25 cm Every year at 25 cm	0-15	0,25	10,9	43,4
	15-30	0,23	9,9	43,0
	30-45	0,17	4,7	27,6
Średnio Mean		0,22	8,50	38,0
Co 5 lat na gł. 40 cm Once per 5 years at 40 cm	0-15	0,25	11,5	46,0
	15-30	0,21	9,4	44,8
	30-45	0,20	6,1	30,5
Średnio Mean		0,22	9,00	40,4
Co rok na gł. 25 cm + CaO Every year at 25 cm+CaO	0-15	0,28	10,1	36,1
	15-30	0,25	8,0	32,0
	30-45	0,23	3,9	17,0
Średnio Mean		0,25	7,33	28,4
Siew bezpośredni + CaO Direct sowing + CaO	0-15	0,37	13,4	36,2
	15-30	0,32	10,8	33,8
	30-45	0,22	4,8	21,8
Średnio Mean		0,30	9,67	30,6

* CaO – wapnowanie liming

Jednocześnie w warunkach orki wykonywanej co 5 lat na głębokość 40 cm stwierdzono największy procentowy udział formy S-SO₄ w ogólnej zawartości siarki w glebie (15,4 %) – tabela 1. Wskazuje to na zwiększone tempo mineralizacji organicznych związków siarki. Tempo mineralizacji organicznych związków siarki w glebie uzależnione jest m.in. od pH gleby [Jakubus i in. 1999, Szulc 2002]. Zależność taką zaobserwowano również w analizowanym doświadczeniu, porównując udział S-SO₄ w ogólnej zawartości siarki w obiektach niewapnowanych (tab. 1). Wraz ze wzrostem zakwaszenia gleby (tab. 3) zmniejszył się udział siarczanów w ogólnej zawartości siarki. Jak podają Sing i in. [1980], obniżanie pH gleby prowadzi do wzrostu sorpcji jonów siarczanowych przez cząsteczki fazy stałej gleby i ograniczenia dostępności siarki dla roślin. Niezależnie od sposobu uprawy obiekty wapnowane wykazywały najmniejszy procentowy udział jonów siarczanowych w ogólnej zawartości siarki w glebie (12,2 % oraz 9,23 %) – tabela 1.

Tabela 3. Odczyn gleby pH w KCl o stężeniu 1 mol dm⁻³
 Table 3. Soil reaction pH in 1 mol dm⁻³ KCl

Głębokość Soil depth cm	System uprawy* Cultivation system*				
	Co rok na gł. 15 cm Every year at 15 cm	Co rok na gł. 25 cm Every year at 25 cm	Co 5 lat na gł. 40 cm Once per 5 years at 40 cm	Co rok na gł. 25 cm + CaO Every year at 25 cm + CaO	Siew bezpośredni + CaO Direct sowing + CaO
0-15	5,0	4,4	5,3	5,6	5,8
15-30	4,9	4,9	5,6	5,7	5,6
30-45	5,1	4,6	5,4	5,8	5,7

* CaO – wapnowanie liming

Wprowadzanie znacznych ilości wapnia do gleby stwarza bowiem warunki do wytrącania się w glebie gipsu, przez co zmniejsza się dostępność siarki dla roślin [Freney, Stevenson 1966; Haynes, Swift 1988]. Najmniejszy procentowy udział S-SO₄ w ogólnej zawartości siarki (9,23 %) stwierdzono w obiekcie, w którym stosowano siew bezpośredni (tab. 1). Kombinacja ta charakteryzowała się jednocześnie największą zawartością organicznych form siarki (272,8 mg kg⁻¹) oraz węgla organicznego (9,67 g kg⁻¹) (tab. 1 i 2), co świadczy o tym, że ograniczenie uprawy gleby, związane z mniejszym jej napowietrzaniem i nagromadzeniem materii organicznej, sprzyja procesom sorpcji biologicznej w glebie. Podobną zależność stwierdzili Maynard i in. [1985] oraz Haynes, Williams [1992], porównując tempo mineralizacji organicznych związków siarki na terenach uprawnych i glebach odlogowanych.

Niezależnie od sposobu uprawy zawartość wszystkich form siarki w glebie, a także zawartość węgla organicznego zmniejszała się wraz z głębokością w profilu glebowym (tab. 1 i 2). Systematyczna, intensywna uprawa gleby powodowała spadek zawartości węgla organicznego z 12,8 g kg⁻¹ przed założeniem doświadczenia do 7,3 g kg⁻¹ w obiekcie wapnowanym, na którym przez ponad 40 lat wykonywano każdego roku orkę na głębokość 25 cm. W warunkach gleb Polski zazwyczaj poziomy powierzchniowe zawierają więcej siarki niż poziomy głębsze, co związane jest z tym, że podstawowym źródłem siarki glebowej jest materia organiczna, na co wskazuje istotna dodatnia korelacja pomiędzy zawartością siarki i próchnicy w glebie [Terelak i in. 1988]. Sytuacja taka może być także związana ze szczególnie dużą imisją związków siarki z zanieczyszczeń atmosferycznych w latach 80. ubiegłego stulecia [Kaczor, Kozłowska 2000].

Pomimo zróżnicowania w zawartości poszczególnych form siarki w glebie w zależności od warunków uprawy (tab. 1) stosunek węgla do siarki (tab. 2)

wskazuje na przewagę procesów mineralizacji związków siarki we wszystkich analizowanych wariantach uprawy. Jak wykazują liczne badania przy stosunku C:S < 200 przeważa mineralizacja, a dopiero przy stosunku C:S > 400 przeważa immobilizacja związków siarki [Freney, Stevenson 1966; Ghani i in. 1992].

WNIOSKI

1. Sposób uprawy gleby modyfikuje zawartość siarki ogółem, siarki organicznej i siarki siarczanowej w glebie głównie poprzez wpływ na zmianę zawartości substancji organicznej w glebie. Ograniczenie uprawy gleby powoduje wzrost zawartości substancji organicznej w glebie i jednoczesny przyrost wszystkich badanych form siarki w glebie.

2. Największa zawartość siarki ogółem w glebie występuje w warunkach siewu bezpośredniego ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$), najmniejsza w obiektach z orką na głębokość 15 cm, wykonywaną każdego roku ($0,21 \text{ g kg}^{-1}$).

3. W zależności od sposobu uprawy i odczynu gleby zawartość siarki siarczanowej stanowi od 9,2% do 15,4% ogólnej zawartości tego pierwiastka w glebie.

4. Niezależnie od sposobu uprawy wapnowanie zwiększa zawartość siarki ogółem, zmniejszając jednocześnie zawartość siarki siarczanowej w glebie.

PIŚMIENNICTWO

- Bloem E.M. 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. 192, ss 156.
- Eriksen J., Murphy M.D., Schung E. 1998. The soil sulphur cycle. In: Sulphur in agroecosystems. Edited by Schung E. Dordrecht-Boston-London. Kluwer Academic Publishers, 39-73.
- Ensminger L.E., Freney J.R. 1966. Diagnostic techniques for determination sulfur deficiencies in crops and soils. *Soil Sci.* 101, 283 - 290.
- Freney J.R., Stevenson F.J. 1966. Organic sulphur transformations in soils. *Soil Sci.* 101, 307-316.
- Ghani A., Mc Laren R.G., Swift R.S. 1992. Sulfur mineralization and transformations in soils as influenced by additions of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Biol. Biochem.* 24, 331-341.
- Haynes R.J., Swift R.S. 1988. Effect of lime and phosphate addition on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extracable nitrogen, sulphur and phosphorus in an acid soil. *Adv. Agron.* 49, 119-199.
- Haynes R.J., Williams P.H. 1992. Accumulation of soil organic matter and the forms, mineralization potential and plant - availability of accumulated organic sulphur: effects of improvement and intensive cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 24, 209-217.

- Jakubus M., Czekala J., Gładysiak S. 1999. Quantity and quality of humic compounds and sulphur fractions in soil under conditions of long-term differentiated soil reaction and potato monoculture. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 311–318.
- Johnson D.W. 1984. Sulphur cycling in forest. *Biogeochemistry* 1, 29–43.
- Kaczor A., Kozłowska J. 2000. Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204 *Agricultura* 81, 55–68.
- Maynard D.G., Stewart J.W.B., Bettany J.R. 1985. The effects of plants on soil sulphur transformations. *Soil Biol. Biochem.* 17, 127–134.
- Morris R.J. 1987. The importance and need for sulphur in crop production in Asia and Pacific region. *Proc. Of the Symp. On Fertilizer sulphur requirements and sources in developing countries of Asia and the Pacific*, Bangkok, 4–11.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski stan i zagrożenie. *Biblioteka Monitoringu Środowiska Warszawa*, 1–106.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 2000. Siarka w glebach i roślinach Polski. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura* 81, 7–16.
- Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production—invited paper. *Europ. J. Agron.* 14, 81–111.
- Singh B.R., Abrahamsen G., Stuanes A. 1980. Effect of simulated acid rain on sulphate movement in acid forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 75–80.
- Stevenson F.J. 1986. *Cycles in Soil*. John Wiley & Sons, New York, 285–320.
- Szulc W. 2002. Wpływ zróżnicowanego nawożenia na zawartość różnych form siarki w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 482, 513–518.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pasternacki J., Wilkos S. 1998. Zawartość form siarki w glebach mineralnych Polski. *Pam. Puł. Supl.* 891, 1–59.
- Wu J., O'Donnell A.G., Syers J.K. 1993. Microbial growth and sulphur immobilization following the incorporation of plant residues into soil. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1567–1573.