

Siarka to jeden z pierwiastków biogennych, który obok azotu, fosforu i potasu decyduje o prawidłowym wzroście i rozwoju roślin [Syers i in. 1987]. Może on być pobierany przez rośliny zarówno przez system korzeniowy w postaci jonów siarczanowych SO_4^{2-} , jak i przez aparaty szparkowe w liściach w postaci SO_2 z powietrza. Przez wiele lat głównym źródłem siarki dla roślin był opad atmosferyczny, który powodował jednocześnie zakwaszanie gleby [Motowicka-Terelak, Dudka 1991; Motowicka-Terelak 1993]. Kryzys gospodarczy w latach osiemdziesiątych oraz działania proekologiczne w latach dziewięćdziesiątych, przyczyniły się do znacznego spadku emisji dwutlenku węgla w Polsce. Spadło także zużycie nawozów mineralnych. Obecnie stosuje się czyste nawozy wieloskładnikowe granulowane i dolistne, niezawierające w swoim składzie siarki [Boreczek 2000]. Istnieje zatem niebezpieczeństwo niedoboru siarki w agrosystemach. Może to nastąpić zwłaszcza przy produkcji roślinnej z wysokim poziomem nawożenia azotem, uprawy roślin o dużym zapotrzebowaniu na siarkę, czy lokalizacji upraw na glebach lekkich o małym kompleksie sorpcyjnym w dużym oddaleniu od ośrodków przemysłowych i ruchliwych dróg. Źródłem siarki dostępnej dla roślin mogą być występujące w glebie związki organiczne z udziałem tego pierwiastka. W procesie ich mineralizacji bierze udział między innymi enzym arylosulfataza (EC 3.1.6.1.).

Celem pracy było oznaczenie w glebie aktywności arylosulfatazy oraz zawartości siarki ogółem, siarki siarczanowej (VI), a także zawartości siarki potencjalnie przyswajalnej dla roślin ekstrahowanej Testem KCl-40.

METODY

Próbki glebowe do analiz pobrano z wieloletniego doświadczenia nawozowego, prowadzonego w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Mochełku, założonego na glebie płowej typowej zaliczanej do klasy bonitacyjnej IVa i IVb. Jest to doświadczenie statyczne z następującymi kombinacjami nawozowymi: 1. Bez nawożenia (kontrola). 2. Słoma + NPK. 3. NPK + CaO. 4. NKP. 5. Obornik. 6. Obornik + PK. 7. Obornik + KN. 8. Obornik + KN + MgO. 9. Obornik + PN. 10. Obornik + PN + MgO. 11. Obornik + NPK. 12. Obornik + NPK + MgO. 13. Obornik + NPK + CaO. 14. Obornik + NPK + CaO + MgO. W zmianowaniu uprawiano następujące rośliny: burak cukrowy, jęczmień jary z wsiewką koniczyny czerwonej, koniczynę czerwoną, rzepak ozimy, pszenicę ozimą. W nawożeniu stosowano obornik w dawce 50 t ha^{-1} pod burak cukrowy, co pięć lat. W 2000 roku po pobieraniu próbek glebowych zastosowano następujące nawożenie mineralne: N – 50, P_2O_5 – 80, K_2O – 120, NPK – 250 (kg ha^{-1}). Próbki glebowe pobrano z warstwy 5–25 cm poziomu Ap, w 52 roku trwania doświad-

czenia w trakcie uprawy jęczmienia jarego z wsiewką koniczyny czerwonej, w następujących terminach: 28 IV, 25 V, 29 VI, 7 IX 2000 roku.

Skład granulometryczny oznaczono metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, pH w roztworze 1 mol dm⁻³ KCl zmierzono metodą elektrometryczną; zawartość C_{org} określono metodą Tiurina, N_{og} oznaczono metodą destylacyjną przy użyciu aparatu do destylacji Büchi [Lityński i in. 1976]. Zawartość siarki ogółem i rozpuszczalnych siarczanów S-SO₄²⁻ (VI) oznaczono według metody Barsley'a Lancastera w modyfikacji COMN-IUNG [1960]. Siarkę przyswajalną dla roślin oznaczono, wykorzystując metodę Testu KCl-40 [Lisle i in. 1994]. Aktywność arylosulfatazy oznaczono według Tabatabai i Bremnera [1970]. Wyniki badań opracowano statystycznie, posługując się do wyznaczenia istotności różnic testem Tukeya.

WYNIKI

Analizowana gleba według systematyki Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego jest zaliczana do gleb płowych typowych, natomiast wg międzynarodowej systematyki FAO-UNESCO do Albic luvisols [Długosz i in. 1999]. Na podstawie analizy składu granulometrycznego badaną glebę zaliczono do piasku gliniastego lekkiego.

Tabela 1. Zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego oraz pH w badanej glebie
Table 1. The content of total organic carbon and total nitrogen and pH in the soil

Lp. No.	Nawożenie Fertilization	C _{org} Org C g kg ⁻¹	N _{og} Total N g kg ⁻¹	pH 1 mol dm ⁻³ KCl	C:S
1	Kontrola Control	4,66	0,45	4,00	25
2	Słoma Strow+ NPK	4,92	0,45	3,54	42
3	NPK + CaO	4,82	0,45	3,80	45
4	NPK	4,85	0,40	3,40	46
5	Obornik FYM	5,05	0,50	3,72	51
6	Obornik FYM + PK	4,75	0,40	3,72	50
7	Obornik FYM + KN	5,37	0,55	3,43	55
8	Obornik FYM + KN + MgO	5,43	0,46	3,37	42
9	Obornik FYM + PN	5,30	0,54	3,48	47
10	Obornik FYM + PN + MgO	5,35	0,52	3,71	47
11	Obornik FYM + NPK	5,35	0,51	3,43	47
12	Obornik FYM+ NPK + MgO	5,31	0,54	3,33	47
13	Obornik FYM + NPK + CaO	6,43	0,58	5,90	50
14	Obornik FYM + NPK + CaO + MgO	6,72	0,66	5,81	53
	Średnio Mean	5,31	0,50		

Kwasowość wymienna badanej gleby była niska i mieściła się w przedziale 3,33–5,90. Najwyższą wartość pH, mierzoną w 1 mol dm⁻³ KCl, oznaczono w próbkach glebowych pobranych z poletek nawożonych obornikiem z pełnym nawożeniem mineralnym (obiekty 13 i 14). W badaniach innych autorów [Jarecki i Krzywy 1991] stwierdzono podwyższanie się odczynu gleby pod wpływem działania obornika.

Zawartość C_{org} i N_{og} była zróżnicowana w zależności od zastosowanego nawożenia. Najniższą zawartość, zarówno węgla organicznego, jak azotu ogółem, oznaczono w próbkach glebowych pobranych z poletek nawożonych NPK (obiekt 4). Natomiast najwyższą zawartość tych składników materii organicznej oznaczono w próbkach glebowych pobranych z poletka nawożonego pełnym nawożeniem organiczno-mineralnym (obiekt 14) – tab. 1.

Stosunek C:S w badanych próbkach glebowych mieścił się w przedziale od 25 do 55. Średnia jego wartość w próbkach gleby z poletek nawożonych tylko nawozami mineralnymi wynosiła, 44 natomiast w próbkach z poletek nawożonych organicznie i mineralnie wynosiła 49 (tab. 1). Z tych wartości można wnioskować o małym wpływie nawożenia organicznego lub mineralnego. Podobne wyniki uzyskał Mercik i in. [1999].

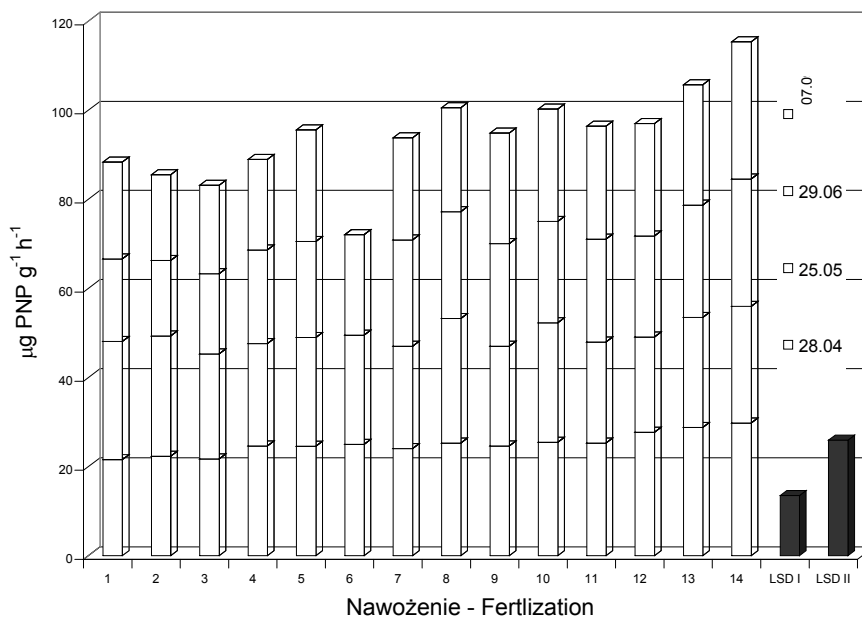
Zawartość siarki ogółem w badanej glebie mieściła się w przedziale 0,041–0,202 g kg⁻¹, zależnie od nawożenia i terminu pobrania próbek glebowych (tab. 2). Z badań Motowickiej-Terelak i Terlak [1998] wynika, że w glebach mineralnych Polski z obszarów typowo rolniczych zawartość siarki mieści się w przedziale 0,07–1,07 g kg⁻¹. W większości próbek glebowych analizowanych przez cytowanych autorów zawartość siarki była niska ze średnią od 0,15 do 0,20 g kg⁻¹ i maksimum 0,40 g kg⁻¹. Średnia roczna zawartość siarki ogółem (0,113 g kg⁻¹) w glebach z Mochelka mieściła się w dolnych granicach tego zakresu (tab. 2). Podobne wyniki otrzymał Mercik i in [1999]. Zawartość siarki ogółem w próbkach gleb gliniastych mieściła się w przedziale 0,075–0,23 g kg⁻¹.

Średnia roczna zawartość siarki siarczanowej w badanej glebie z Mochelka mieściła się w zakresie 9,46–17,45 mg kg⁻¹ (tab. 2). Stanowiła ona 8–16% zawartości siarki ogółem badanej gleby. Zawartość siarki siarczanowej w glebach Polski według Rejman-Czajkowskiej [1973] zawiera się w przedziale od śladowych ilości do kilku, a w niektórych glebach organicznych – kilkunastu mg kg⁻¹ gleby. Wyniki innych badań [Motowicka-Terelak, Terelak 1998] wskazują na znaczne poszerzenie tego przedziału w kierunku zawartości ekstremalnie wysokich. W niektórych regionach kraju gleby zawierają maksymalnie do 500 mg kg⁻¹ tej frakcji siarki. Zawartość siarki siarczanowej zmieniała się w próbkach gleby, pobranych w trakcie sezonu wegetacyjnego jęczmienia jarego. Istotnie najwyższą zawartość tego pierwiastka oznaczono w próbkach glebowych pobranych

Tabela 2. Zawartość siarki ogółem i jej frakcji
Table 2. Content of estimated sulphur fraction in the soil

Lp.	Nawożenie Fertilization	Termin pobrania prób glebowych (I czynnik) Depth of sampling (I factor)				
		28 IV	25 V	29 VI	07 IX	x
Siarka ogółem (g kg ⁻¹)						
1	Kontrola Control	0,058	0,155	0,172	0,089	0,118
2	Słoma Strow + NPK	0,054	0,143	0,185	0,081	0,116
3	NPK + CaO	0,041	0,166	0,146	0,075	0,107
4	NPK	0,052	0,153	0,146	0,073	0,106
5	Obornik FYM	0,055	0,137	0,131	0,076	0,100
6	Obornik FYM + PK	0,072	0,120	0,115	0,074	0,095
7	Obornik FYM + KN	0,085	0,127	0,107	0,074	0,098
8	Obornik FYM + KN + MgO	0,132	0,196	0,113	0,074	0,129
9	Obornik FYM + PN	0,085	0,174	0,118	0,072	0,112
10	Obornik FYM + PN + MgO	0,084	0,190	0,114	0,072	0,115
11	Obornik FYM + NPK	0,084	0,196	0,113	0,069	0,115
12	Obornik FYM+ NPK + MgO	0,098	0,185	0,098	0,075	0,114
13	Obornik FYM + NPK + CaO	0,094	0,202	0,140	0,077	0,128
14	Obornik FYM + NPK + CaO + MgO	0,099	0,167	0,160	0,078	0,126
NIR 0,05 LSD 0.05 I 12,35 II 21, 18 I/II 42,36 II/I 32,39						
Siarka S-SO ₄ ²⁻ (VI) (mg kg ⁻¹)						
1	Kontrola Control	16,15	5,78	5,70	10,21	9,46
2	Słoma Strow+ NPK	18,22	5,97	11,04	10,96	11,55
3	NPK + CaO	16,82	9,61	11,31	80,42	12,04
4	NPK	16,45	12,13	10,14	10,17	12,22
5	Obornik FYM	17,75	14,23	13,41	10,51	13,98
6	Obornik FYM + PK	16,97	12,81	14,16	9,91	13,46
7	Obornik FYM + KN	21,86	14,76	15,51	10,66	15,70
8	Obornik FYM + KN + MgO	17,70	13,82	17,95	10,14	14,90
9	Obornik FYM + PN	16,80	13,78	18,63	18,02	16,81
10	Obornik FYM + PN + MgO	17,61	15,51	19,46	17,24	17,45
11	Obornik FYM + NPK	16,79	14,57	18,77	13,60	15,93
12	Obornik FYM+ NPK + MgO	18,33	16,30	18,66	13,93	16,80
13	Obornik FYM + NPK + CaO	24,55	14,57	17,80	14,80	14,83
14	Obornik FYM + NPK + CaO + MgO	19,04	17,35	18,25	11,87	16,63
NIR 0,05 LSD 0.05 I 2,19 II 3,98 I/II 7,90 II/I 6,01						
Siarka ekstrahowana w KCl (mg kg ⁻¹) Sulphur extractable in KCl						
1	Kontrola Control	51,47	40,06	50,63	48,91	41,10
2	Słoma Strow+ NPK	53,25	49,36	51,22	53,55	44,54
3	NPK + CaO	61,28	49,45	51,05	60,43	47,31
4	NPK	49,70	45,56	54,35	50,77	43,17
5	Obornik FYM	45,90	43,61	60,60	81,44	46,78
6	Obornik FYM + PK	49,70	46,65	51,47	78,47	45,87
7	Obornik FYM + KN	50,20	60,18	52,23	46,31	45,91
8	Obornik FYM + KN + MgO	56,29	48,85	51,81	53,74	45,35
9	Obornik FYM + PN	51,14	47,67	51,47	64,71	44,92
10	Obornik FYM + PN + MgO	51,11	52,32	50,46	44,45	43,30
11	Obornik FYM + NPK	49,36	51,05	52,49	60,07	45,05
12	Obornik FYM+ NPK + MgO	43,95	45,14	51,14	61,00	41,99
13	Obornik FYM + NPK + CaO	43,11	45,13	54,43	65,83	43,15
14	Obornik FYM + NPK + CaO + MgO	42,51	46,49	57,22	57,63	42,54
NIR 0,05 LSD 0.05 I 0,38 II 13,55 I/II 27,10 II/I 20,42						

w kwietniu i wrześniu. Stwierdzono również istotny wpływ nawożenia na zawartość siarki siarczanowej w glebie. Próbkę glebową pobraną z obiektu nawożonego tylko nawozami mineralnymi (obiekt 4) miały średnio o 30% więcej siarki mineralnej w porównaniu z próbkami glebowymi z poletek kontrolnych. Natomiast próbki glebowe nawożone tylko obornikiem zawierały 48% więcej tego składnika, a z pełnym nawożeniem organiczno-mineralnym o 76% w porównaniu z próbkami kontrolnymi.



Rycina 1. Aktywność arylosulfatazy w zależności od nawożenia i terminu pobierania próbek glebowych.

Figure 1. Arylsulphatase activity as depended on fertility and date of sampling

Siarka ekstrahowana w 1 mol dm⁻³ KCl pozwala określić siarczany zawarte w roztworze glebowym, które są dostępne dla roślin oraz część siarki organicznej, która podlega szybko mineralizacji, stając się dostępną dla roślin [Lisle i in. 1994]. Zawartość tej frakcji siarki w analizowanych próbkach glebowych mieściła się w przedziale 40,06–65,83 mg g⁻¹ gleby i istotnie zależała od nawożenia oraz terminu pobierania próbek glebowych (tab. 2). Frakcja ta stanowiła od 35–48% zawartości siarki ogółem w badanej glebie. Mercik i in. [1999] stwierdzili większe jej zawartości, ponieważ stanowiła średnio 66% całkowitej zawartości siarki w glebie. Analiza korelacji wykazała istotną zależność pomiędzy zawartością tej frakcji siarki w glebie z Mochelka a zawartością siarki ogółem (r=0,37) oraz siarką siarczanową (r=0,33).

Aktywność arylosulfatazy w badanej glebie istotnie zmieniała się w trakcie sezonu wegetacyjnego jęczmienia jarego i mieściła się w zakresie 16,9–30,8 $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$. Istotnie najwyższą aktywność tego enzymu oznaczono w próbkach glebowych pobranych w pierwszym terminie (ryc. 1). Najwyższą średnią roczną aktywność enzymu oznaczono w próbkach glebowych pobranych z poletek nawożonych obornikiem i pełnym nawożeniem mineralnym (obiekty 13 i 14). Ross i Cairns [1982], badając aktywność arylosulfatazy w różnych typach gleb, otrzymali wartości mieszczące się w szerszym zakresie 14–680 $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

WNIOSKI

1. Badana gleba charakteryzowała się niską zawartością siarki ogółem. Nawożenie istotnie wpływało na jej zasobność. Bardziej zasobne w ten pierwiastek były próbki glebowe pobrane z poletek nawożonych obornikiem i nawozami mineralnymi.

2. Zawartości siarki siarczanowej i ekstrahowanej Testem KCl-40 w badanej glebie zmieniały się w próbkach glebowych pobranych w trakcie sezonu wegetacyjnego jęczmienia jarego. Zawartość obu oznaczonych frakcji siarki istotnie zmieniała się w zależności od zastosowanego nawożenia.

3. Badana gleba wykazywała niską aktywność arylosulfatazy. Najwyższą aktywność enzymu stwierdzono w próbkach glebowych pobranych na początku sezonu wegetacyjnego jęczmienia jarego. Nawożenie istotnie zmieniało aktywność enzymu badanej gleby. Najwyższą aktywnością cechowały się próbki glebowe pobrane z obiektów nawożonych organiczno-mineralnie.

PIŚMIENNICTWO

- Bardsley C.E., Lancaster J.D. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24, 265–268.
- Boreczek B. 2000. Czy istnieje problem niedoboru siarki w żywieniu roślin? *Biul. Inform. IUNG* 12, 23–28.
- Długosz J., Jaworska H., Malczyk P. 1999. Charakterystyka pokrywy glebowej obszaru stacji badawczej ATR w Mochełku. *Zesz. Nauk. ATR* 217, 43, 107–135.
- Jarecki M., Krzywy E. 1991. Kształtowanie się zawartości węgla i azotu oraz innych składników chemicznych w glebie pod wpływem wieloletniego nawożenia obornikiem i gnojowicą. *Rocz. Gleb.* 42, 3/4, 37–44.
- Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E. 1976. *Analiza chemiczno-rolnicza*. PWN, Warszawa.
- Lisle L., Lefroy R., Anderson G., Blair G. 1994. Methods for measurement of sulphur in plants and soil. *Sulphur in Agriculture* 18, 45–54.

- Mercik S., Kalembasa S., Wiśniewska B., Podgajna G. 1999. Zawartość siarki ogólnej oraz jej frakcji w glebach w zależności od wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 411–418.
- Motowicka-Terelak T., Dudka 1991. Degradacja chemiczna gleb zanieczyszczonych siarką i jej wpływ na rośliny uprawne. *Wyd. IUNG S, Rol.* 284, 95.
- Motowicka-Terelak T. 1993. Badania modelowe nad mechanizmem i skutkami degradacji gleb zanieczyszczonych związkami siarki. *Pam Puł.* 102, 15–27.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. *PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska*, 106.
- Rejman-Czajkowska M. 1973. Zawartość i rozmieszczenie siarki w glebach wytworzonych z gliny lekkiej. *Rocz. Gleb.* 24, 2, 203–229.
- Ross D., Cairns A. 1982. Effects of earthworms and ryegrass on respiratory and enzyme activities in soil. *Soil Biol. Biochem.* 14, 583–587.
- Siuta J., Rejman-Czajkowska M. 1980. Siarka w biosferze. *PWRiL, Warszawa*.
- Syers J.K., Skimmer R.J., Curtin D. 1987. Soil fertiliser sulphur in U.K. agriculture. *Proc. Fert. Soc.* 264, London 1987.
- Tabatabai M.A., Bremner J.M. 1970. Arylosulfatase activity of soils. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 225–229.