

W mineralnych glebach Polski ilość siarki kształtuje się z reguły na poziomie $0,05\text{--}0,4\text{ g kg}^{-1}$, a w organicznych może być nawet 10-krotnie wyższa (do $4,5\text{ g S kg}^{-1}$). Z tej ogólnej puli około 90–95% S występuje w różnego rodzaju połączeniach organicznych, a jedynie 5–10% stanowią związki mineralne dostępne dla roślin [Terelak i in. 1988, 1995].

Do początku lat osiemdziesiątych naszego stulecia bilans siarki w glebach większości państw europejskich był dodatni. Jednakże w ostatnim okresie z różnych krajów – w tym również z Polski – coraz częściej docierają sygnały o występujących niedoborach tego składnika w produkcji roślinnej [Mc Grath i in. 1996; Peacock i in. 1996; Zhao i in. 1996]. Przyczyniła się do tego około 40% redukcja emisji SO_2 , spadek nawożenia organicznego oraz zmniejszone zużycie nawozów mineralnych zawierających siarkę [Bloem 1998; Motowicka-Terelak, Terelak 1998]. Wysokie wymagania pokarmowe niektórych roślin uprawnych w stosunku do siarki oraz znaczne wymywanie siarczanów powodują, że w wielu glebach bilans tego składnika jest ujemny [Sweeney 1995; Schnug 1991; Eriksen 1997].

Również w Polsce ponad połowę gleb (53%) charakteryzuje niska zasobność w siarkę dostępną dla roślin. Dotyczy to zwłaszcza lżejszych gleb mineralnych, zwykle zakwaszonych, usytuowanych w dużej odległości od ośrodków przemysłowych [Terelak i in. 1988]. Stąd też podjęto badania, których celem było ustalenie zakresu wpływu nawożenia różnymi formami siarki na zmiany w zawartości siarki siarczanowej w glebie.

METODY

Badania wykonano opierając się na ścisłych trzyletnich doświadczeniach wazonowych prowadzonych na materiale glebowym pobranym z warstwy ornej gleby płowej o składzie granulometrycznym pyłu ilastego. Gleba ta charakteryzowała się niską zawartością siarki siarczanowej na poziomie 12 mg kg^{-1} .

Doświadczenie założono metodą kompletnej randomizacji. Czynnikiem zmiennym była forma siarki zastosowana na 8 poziomach. Nawożenie siarką stosowano corocznie w dawce $0,025\text{ g S kg}^{-1}$ dla pszenicy i jęczmienia oraz $0,05\text{ g kg}^{-1}$ dla gorczycy białej i rzepaku, zgodnie ze schematem: 1 – bez siarki; 2 – RSM z siarką w formie $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 3 – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 4 – K_2SO_4 ; 5 – Na_2SO_4 ; 6 – S elementarna; 7 – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 8 – H_2SO_4 .

W pierwszym roku badań rośliną testową była pszenica jara odmiany Ismena i gorczyca biała odmiany Borowska. W drugim roku uprawiano rzepak jary odmiany Sponsor i jęczmień jary odmiany Rataj. Niniejsza praca stanowi wycinek

tych badań i obejmuje wpływ czynników doświadczalnych na zawartość siarki siarczanowej w glebie po pierwszym i drugim roku badań.

We wszystkich obiektach doświadczalnych w każdym roku trwania eksperymentu stosowano nawożenie N, P, K, Mg w ilości zgodnej z wymaganiami pokarmowymi roślin. W przypadku pszenicy, gorczycy i jęczmienia dawki azotu, fosforu, potasu i magnezu kształtowały się na poziomie: 0,14 g N kg⁻¹, 0,075 g K kg⁻¹, 0,038 g P kg⁻¹, 0,015 g Mg kg⁻¹. Dla rzepaku wynosiły natomiast: 0,28 g N kg⁻¹, 0,15 g K kg⁻¹, 0,076 g P kg⁻¹, 0,03 g Mg kg⁻¹. Dawkę azotu dzielono na dwie części. Połowę tego składnika wprowadzano w trakcie zakładania doświadczenia, drugą połowę podawano po przerwaniu roślin do optymalnej ilości. Fosfor, potas i magnez stosowano w całości przedsięwzięcia. Poszczególne składniki pokarmowe wnoszono w postaci: N – NH₄NO₃, RSM z siarką, (NH₄)₂SO₄; P – Ca(H₂PO₄)₂·H₂O; K – KCl, K₂SO₄; Mg – MgCl₂·6H₂O.

Każdą roślinę doświadczalną uprawiano w trzech powtórzeniach, a ich zbiór przeprowadzono w fazie pełnej dojrzałości.

W próbach glebowych przed doświadczeniem oraz w każdym roku trwania eksperymentu oznaczono zawartość siarki siarczanowej nefelometrycznie według przepisu Bardsleya i Lancastera [Boratyński i in. 1975].

WYNIKI

Zawartość siarki siarczanowej w glebie analizowanej przed rozpoczęciem badań była niska i kształtowała się na poziomie 12,0 mg kg⁻¹ [Terelak i in. 1998, 1995]. Zastosowane czynniki doświadczalne oraz gatunek uprawianej rośliny wyraźnie różnicowały zawartość S-SO₄, stwierdzoną w glebie po pierwszym i drugim roku prowadzenia badań (tab. 1).

Po zbiorze pszenicy jarej w obiekcie kontrolnym (bez siarki) koncentracja siarki siarczanowej była około dwukrotnie niższa w porównaniu z zawartością stwierdzoną przed rozpoczęciem badań i około 2,5-10-krotnie w odniesieniu do ilości w pozostałych obiektach. Wyraźny spadek zawartości siarczanów w obiekcie nienawożonym siarką może wiązać się ze stosunkowo wysokim ich pobraniem przez pszenicę [Mc Grath i in. 1996]. Najwyższą zawartość analizowanej formy siarki (66,5 mg S kg⁻¹) stwierdzono w obiekcie nawożonym H₂SO₄, czyli głównym składnikiem kwaśnego deszczu. Świadczyć to może o znacznym wpływie kwaśnych imisji na wzrost zawartości siarczanów w glebach [Kaczor 1994]. Wysokie ilości siarczanów wystąpiły także w glebie nawożonej (NH₄)₂SO₄ i CaSO₄·2H₂O. W rozpatrywanych obiektach ilość siarczanów wahała się w granicach 42,5–43,2 mg kg⁻¹. Nawożenie pozostałymi formami siarki powodowało zwiększenie koncentracji S-SO₄ do poziomu 17,6–33,7 mg kg⁻¹.

Tabela 1. Wpływ nawożenia różnymi związkami siarki na zawartość siarki siarczanowej w glebie
 Table 1. The influence of different compounds of sulphur fertilization on the sulphur sulphate content in soil

Obiekt Treatment	I rok badań 1 st year of the experiment	II rok badań 2 nd year of the experiment
	mg kg ⁻¹	
	Stan po zbiorze pszenicy jarej State after spring wheat harvest	Stan po zbiorze rzepaku jarego State after spring rape harvest
Bez siarki Without S	6,6	4,9
RSM z siarką UAN with sulphur	17,6	7,8
(NH ₄) ₂ SO ₄	43,2	5,8
K ₂ SO ₄	22,2	4,9
Na ₂ SO ₄	33,7	3,8
S	20,0	11,9
CaSO ₄ 2H ₂ O	42,5	3,8
H ₂ SO ₄	66,5	8,1
	Stan po zbiorze gorczycy białej State after white mustard harvest	Stan po zbiorze jęczmienia jarego State after spring barley harvest
Bez siarki Without S	7,6	6,3
RSM z siarką UAN with sulphur	5,1	12,1
(NH ₄) ₂ SO ₄	47,2	24,1
K ₂ SO ₄	45,8	53,8
Na ₂ SO ₄	26,5	40,0
S	12,6	39,3
CaSO ₄ 2H ₂ O	18,3	24,5
H ₂ SO ₄	15,0	9,5

Zawartość siarczanów stwierdzona w glebie po sprzęcie gorczycy białej, a więc rośliny szczególnie wymagającej w stosunku do siarki [Mc Grath i in. 1996], była w większości obiektów niższa w porównaniu z odpowiednimi wartościami stwierdzonymi po zbiorze pszenicy i w dużym stopniu zależała od formy wprowadzonego nawożenia siarką. Najniższą ilość S-SO₄, wynoszącą 5,1 mg kg⁻¹, zanotowano w glebie z obiektu RSM z siarką. W obiekcie, w którym nawożenia siarką nie stosowano, koncentracja siarki siarczanowej była również około 1,6-krotnie niższa w porównaniu z ilością stwierdzoną w glebie przed rozpoczęciem badań. Najwyższe zawartości analizowanej formy siarki odnotowano natomiast w obiektach, w których nawożenie stosowano w formie (NH₄)₂SO₄ oraz K₂SO₄ (47,2–45,8 mg kg⁻¹). Aplikacja Na₂SO₄ powodowała, że zawartość siarki siarczanowej była wprawdzie około 1,7-krotnie niższa w porównaniu z zawartością stwierdzoną w powyższych obiektach, ale około

2,2-krotnie wyższa w odniesieniu do ilości stwierdzonej przed doświadczeniem. W pozostałych obiektach zawartość rozpatrywanej formy siarki wahała się w zakresie 12,6–18,3 mg kg⁻¹.

W glebie analizowanej w drugim roku badań, po zbiorze rzepaku jarego, we wszystkich obiektach zawartość siarczanów była niższa w porównaniu z zawartością stwierdzoną przed rozpoczęciem badań. Związane to było najprawdopodobniej z wysokimi wymaganiami pokarmowymi tej rośliny w stosunku do siarki oraz z wielkością uzyskiwanych plonów [Mc Grath, Zhao 1996; Mc Grath i in. 1996]. Najniższą koncentrację siarczanów wykazywała gleba z obiektów, w których siarkę stosowano w formie Na₂SO₄ oraz CaSO₄·2H₂O i wynosiła ona jedynie 3,8 mg kg⁻¹. Nieco wyższe zawartości rozpatrywanej formy siarki stwierdzono po aplikacji K₂SO₄ oraz w obiekcie bez siarki (4,9 mg kg⁻¹). W pozostałych obiektach koncentracja S-SO₄ była na poziomie 5,8–8,1 mg kg⁻¹. Wyższa zawartość siarki w tych obiektach wynikała ze stosunkowo małego pobrania tego składnika pokarmowego przez słabo plonujące rośliny. Wyjątek stanowił tu jedynie obiekt, w którym stosowano nawożenie siarką w formie siarki elementarnej. W rozpatrywanym obiekcie ilość siarczanów była zbliżona do zawartości stwierdzonej przed rozpoczęciem badań.

W odróżnieniu od rzepaku jarego, w glebie analizowanej po sprzęcie jęczmienia koncentracja S-SO₄ była w większości obiektów wyższa w odniesieniu do zawartości zanotowanej przed założeniem doświadczeniem. Związane to było zapewne z uwalnianiem się jonów siarczanowych w procesie mineralizacji bogatych w ten składnik resztek poźniwnych, zwłaszcza korzeni roślin krzyżowych. Szybkiemu procesowi mineralizacji sprzyjał również wąski stosunek węgla do siarki, który jest charakterystyczny dla roślin o wysokich wymaganiach względem tego składnika pokarmowego [Motowicka-Terelak, Terelak 1998]. Jedynie w obiektach bez siarki i H₂SO₄ zawartość siarki siarczanowej kształtowała się na poziomie 6,3–9,5 mg kg⁻¹. Najwyższą zawartość rozpatrywanej formy siarki zanotowano natomiast w glebie z obiektu nawożonego w postaci K₂SO₄ i wynosiła ona 53,8 mg kg⁻¹. Również w obiektach Na₂SO₄ i z S elementarną ilość siarczanów 3,3-krotnie przekraczała wartość stwierdzoną w glebie poddanej analizie przed założeniem eksperymentu. W pozostałych obiektach zawartość S-SO₄ wahała się w granicach 12,1–24,5 mg kg⁻¹.

WNIOSKI

1. Zawartość siarki siarczanowej w glebie zależała od gatunku uprawianej rośliny oraz formy, w której zastosowano nawożenie siarką.

2. Najwyższe zawartości S-SO₄ stwierdzono w glebie po zbiorze jarych form pszenicy i jęczmienia. Rośliny te wykazują bowiem znacznie niższe wymagania pokarmowe w stosunku do siarki w porównaniu z roślinami krzyżowymi, po których sprzecznie ilość siarczanów wyraźnie się obniżyła i niejednokrotnie była dużo niższa w porównaniu z zawartością stwierdzoną w glebie przed założeniem doświadczenia.

3. Największą koncentrację S-SO₄ w glebie stwierdzono pod wpływem nawożenia siarką w postaci związków (NH₄)₂SO₄, K₂SO₄ oraz Na₂SO₄.

PIŚMIENNICTWO

- Bloem E.M. 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft*, 192, 1–156.
- Boratyński K., Grom A., Ziętecka M. 1975. Badania nad zawartością siarki w glebie. Cz. I. Badania metodyczne nad oznaczaniem siarki siarczanowej w glebach. *Rocz. Gleb.* 26, 3, 121–139.
- Eriksen J. 1997. Sulphur cycling in Danish agricultural soils. *Fertilization for sustainable plant production and soil fertility – 11 th World Fertilizer Congress of CIEC, Proc. 2, Gent*, 64–72.
- Kaczor A. 1994. Możliwości wykorzystania niektórych właściwości gleby w ocenie stopnia zanieczyszczenia środowiska kwaśnymi opadami. *Rocz. Gleb.* 45, 3/4, 43–58.
- Mc Grath S.P., Zhao F.J. 1995. A risk assessment of sulphur deficiency in cereals using soil and atmospheric deposition data. *Soil Use and Management* 11, 110–114.
- Mc Grath S.P., Zhao F.J., Withers P.J.A. 1996. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. *The Fertiliser Society, London*, 3–47.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenia. *PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa*, 106.
- Peacock S., Evans E.J., Monaghan J.D., Rimmer D.L. 1996. S uptake and yield responses of crops grown on a S-deficient soil amended with industrial co-product gypsum. *Recycling of plant nutrients from industrial processes. Proc. 10 th International Symposium of CIEC*, 237–242.
- Schnug E. 1991. Sulphur nutritional status of European crops and consequences for agriculture. *Sulphur in Agriculture* 15, 7–12.
- Sweeney P.M. 1995. Commercial development of sulphur fertilizers in Europe. *Sulphur in Agriculture* 19, 68–73.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pasternacki J. 1988. Zawartość różnych form siarki w glebach mineralnych Polski. *Pam. Puł.* 91, 5–59.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K. 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, 45–60.
- Won-Sa K. 1988. Sulphur mineralogy in soil. *Proc. International symposium on sulphur for Korean agriculture. Seoul, Korea*, 67–71.
- Zhao F.J., Hawkesford M.J., Warrilow A.G.S., Mc Grath S.R., Clarkson D.T. 1996. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. *Plant and Soil* 181, 317–327.