

JOLANTA KOZŁOWSKA

*Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zmiany
we właściwościach fizykochemicznych i chemicznych gleby.*

I. Siarka w glebie

The Effect of Sulphur Fertilization and Liming on the Changes in the Physio-Chemical
and Chemical Properties of the Soil. I. Sulphur in the Soil

Siarka stanowi niecałe 0,05% składu skorupy ziemskiej i pod względem rozpowszechnienia pierwiastków zajmuje piętnaste miejsce. Jej zawartość w glebie zależy od skały macierzystej, ilości i jakości substancji organicznej, kwasowości gleby, warunków wodnych, klimatycznych i zanieczyszczeń powietrza (15, 21, 25). Ogólna zawartość siarki w mineralnych glebach Polski waha się w zakresie od 0,005 do 0,04%, a w organicznych może być nawet 10-krotnie wyższa (do 0,45% S). Z tej ilości około 90-95% siarki występuje w różnych połączeniach organicznych, a tylko 5-10% stanowią związki mineralne dostępne dla roślin (23, 24).

Pierwotnym źródłem siarki w glebie są minerały. Wśród nich najczęściej spotykany jest gips, który występuje w największych ilościach w glebach klimatu pustynnego i półpustynnego, ale może się on również tworzyć w klimacie wilgotnym w wyniku wietrzenia siarczków. Z minerałów siarczkowych przeważają siarczki żelaza oraz hydrotroilit. W glebach uprawnych, zawierających w głębszych poziomach profilu piryty, często spotyka się siarczany żelaza, potasu, sodu, magnezu oraz związki o niższym stopniu utlenienia, takie jak: siarczyny, tiosiarczany, pięcioitioniany i siarkę elementarną (9, 15, 18, 25).

Siarka do gleby wprowadzana jest również z niektórymi nawozami mineralnymi. Największe ilości tego pierwiastka wnoszone są wraz z siarczanem amonu (24% S), siarczanem potasu (18% S), superfosfatem pojedynczym (12% S), gipsem lub fosfogipsem (18-19% S), siarczanem magnezu (13% S), kizerytem (22% S)

i siarką elementarną (100% S) - 8, 11, 12, 13. W Wielkiej Brytanii stosowany jest również siarczan manganu (14% S) - 12. Cennym źródłem siarki są również nawozy organiczne, zwłaszcza obornik, w którym zawartość tego składnika kształtuje się na poziomie 0,03-0,06% S.

Siarka do gleby dostaje się również z atmosfery (1, 5, 6, 12, 15, 16). Dwutlenek siarki, główny składnik zanieczyszczeń powietrza, może być absorbowany na powierzchni gleby w formie gazowej, a następnie rozpuszczany i utleniany w roztworze glebowym. Zjawisko to określane jest jako suche osiadanie (*dry deposition*). Tlenki siarki mogą również utleniać się w atmosferze do kwasu siarkowego i docierać do gleby z deszczem lub innym opadem. Jest to tzw. osiadanie mokre (*wet deposition*) i mamy wtedy do czynienia z kwaśnym opadem, który według klasycznej definicji określany jest jako opad o *pH* niższym od 5,6 (6, 14).

Na bilans siarki w glebach wpływa również przemieszczanie się tego składnika w głębsze warstwy gleby. Migracja związków siarki w obrębie profilu glebowego jest procesem złożonym i zależy od szeregu czynników, takich jak: właściwości chemiczne i odczyn środowiska, charakter połączeń tego składnika, warunki oksydacyjno-redukcyjne, obecność substancji organicznej oraz skład mikroflory glebowej (10, 18).

W zależności od wymienionych czynników wymycie siarczanów poza obręb profilu glebowego może wynosić od 13 do 140 kg S/ha (2, 10).

Uwzględniając źródła i ubytki siarki, jej bilans aż do wczesnych lat osiemdziesiątych 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 (8, 13, 17, 26). Złożyły się na to około 40% redukcja emisji dwutlenku siarki, spadek nawożenia organicznego oraz zmniejszenie zużycia nawozów zawierających siarkę (2, 15, 19). Z drugiej strony wysokie wymagania niektórych roślin uprawnych w stosunku do siarki i znaczne wymywanie siarczanów powodują, że często w wielu glebach jej bilans jest ujemny (2, 7, 20, 22).

Na możliwość wystąpienia deficytu siarki w Polsce w środowisku wzrostu roślin wskazują także wyniki badań IUNG-u, dotyczące wyceny gleb w ten składnik (24). Z danych tych wynika, że ponad połowę gleb (53%) w kraju charakteryzuje niska zasobność w siarkę dostępną dla roślin (poniżej 20 mg S · kg⁻¹). Największy udział gleb o niskiej zasobności odnotowano na lżejszych, zwykle zakwaszonych glebach mineralnych, usytuowanych z daleka od ośrodków przemysłowych. Stąd też podjęto badania, których celem było ustalenie zakresu wpływu nawożenia siarką i wapnowania na zmiany we właściwościach fizykochemicznych i chemicznych gleby oraz na plonowanie i skład jonowy roślin. Niniejsza praca stanowi wycinek tych badań i obejmuje analizę wpływu wymienionych czynników doświadczalnych na kształtowanie się w glebie siarki siarczanowej i ogółem.

METODYKA BADAŃ

Badania wykonano opierając się na dwóch seriach ścisłych, dwuletnich doświadczeń wazonowych. Doświadczenia te prowadzono w latach 1997-1998 na materiale glebowym pobranym z warstwy ornej gleby płowej o składzie granulometrycznym gliny lekkiej silnie spiaszczonej pylastej. Gleba ta cechowała się bardzo kwaśnym odczynem, niską zawartością przyswajalnego fosforu i siarki siarczanowej oraz bardzo niską przyswajalnego potasu i magnezu. Dane charakteryzujące glebę przed rozpoczęciem badań zamieszczono w tabeli 1.

Doświadczenie założono metodą kompletnej randomizacji. Obejmowało ono 2 zmienne czynniki (dawka siarki, dawka wapna) na trzech poziomach. Nawożenie siarką w formie Na_2SO_4 i wapnowanie w postaci CaCO_3 zastosowano jednorazowo przed założeniem doświadczenia zgodnie z załączonym schematem.

W I serii doświadczałnej rośliną testową w roku 1997 był rzepak jary odmiany Lisonne „00”, a po nim w roku 1998 jęczmień jary odmiany Start. W II serii w roku 1997 uprawiano gorczycę białą odmiany Borowska, a po niej w roku 1998 posiano owies odmiany Sławko. Przy doborze roślin brano pod uwagę ich wrażliwość na zakwaszenie gleby oraz potrzeby pokarmowe w stosunku do siarki. Do doświadczeń użyto wazonów mieszczących 6 kg gleby. Siew roślin przeprowadzano każdego roku w III dekadzie kwietnia w ilości 20 nasion na wazon. Po wschodach rośliny przerywano, pozostawiając po 7 w każdym wazonie w przypadku krzyżowych i po 8 w przypadku jęczmienia i owsa.

We wszystkich obiektach doświadczalnych w każdym roku badań stosowano stałe nawożenie NPKMg w następującej ilości:

Rośliny zbożowe i gorczyca biała	Rzepak jary
N – 0,160 g N · kg ⁻¹ gleby	0,320 g N · kg ⁻¹ gleby
P – 0,055 g P · kg ⁻¹ gleby	0,080 g P · kg ⁻¹ gleby
K – 0,160 g K · kg ⁻¹ gleby	0,220 g K · kg ⁻¹ gleby
Mg – 0,010 g Mg · kg ⁻¹ gleby	0,013 g Mg · kg ⁻¹ gleby

Dawkę azotu dzielono na 2 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 przedsięwzięcie. Poszczególne składniki pokarmowe wnoszono w postaci: N - NH_4NO_3 ; P - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; K - KCl; Mg - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. W okresie wegetacji utrzymywana była stała wilgotność na poziomie 60% połowej pojemności wodnej.

Każdą roślinę doświadczalną uprawiano w sześciu powtórzeniach. Zbiór roślin przeprowadzano w fazie kwitnienia (2 powtórzenia) oraz w okresie pełnej dojrzałości (4 powtórzenia).

Oznaczenia fizykochemicznych i chemicznych właściwości gleby użytej do doświadczeń wykonano metodami powszechnie stosowanymi w laboratoriach chemiczno-rolniczych. W próbach glebowych przed doświadczeniem oraz po sprzęcie roślin po I i II roku prowadzenia eksperymentu oznaczono siarkę siarczanową metodą nefelometryczną według przepisu Bardsleya i Lancastera (3). Siarkę ogółem oznaczono również nefelometrycznie, metodą Buttersa-Chenery (4). Tę formę siarki oznaczono tylko w glebie przed założeniem doświadczenia oraz po zakończeniu badań. Analizy materiału glebowego wykonano w dwu powtórzeniach w uśrednionych próbach obiektowych. W tabelach zamieszczono wartości średnie.

Tab. 1. Właściwości gleby przed założeniem doświadczenia
Soil properties before setting the experiment

Wyszczególnienie	Warstwa 0-20 cm
Skład granulometryczny	
- piasek (1,0 – 0,1 mm), %	37
- pył (0,1 – 0,02 mm), %	41
- il (< 0,02 mm), %	22
Odczyn, pH_{KCl}	3,85
Kwasowość wymienna (Hw), $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	16,6
Al ruchomy, $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	8,9
Kwasowość hydrolityczna (Hh), $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	41,6
C organiczny, %	0,82
P przyswajalny, $mg P \cdot kg^{-1}$	24,1
K przyswajalny, $mg K \cdot kg^{-1}$	56,2
Mg przyswajalny, $mg Mg \cdot kg^{-1}$	28,0
Ca wymienny, $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	5,8
Mg wymienny, $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	1,4
K wymienny, $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	2,1
Na wymienny, $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	0,2
Pojemność wymienna (Tw), $mmol(+) \cdot kg^{-1}$	51,1
Stopień wysycenia gleb zasadami (V), %	18,59

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zawartość siarki siarczanowej i ogółem w glebie przed doświadczeniem była bliska zawartości stwierdzonych w Polsce w glebach płowych (21, 23). Zastosowane czynniki doświadczenia wyraźnie wpłynęły na zmianę ilości siarczanów w glebie. Wprowadzenie węglanu wapnia pociągało za sobą widoczny spadek zawartości S-SO₄ w glebie. Dotyczyło to zwłaszcza obiektów, w których rzepak ścinano w fazie kwitnienia, a gorczycę zarówno w fazie kwitnienia, jak i w okresie pełnej dojrzałości. W analizowanych obiektach zastosowanie nawozu wapniowego w dawce liczonej według 0,5 Hh powodowało, że spadek ten był 1,5-3-krotny dla rzepaku i 2-3-krotny dla gorczycy w fazie kwitnienia oraz 2-7-krotny w okresie pełnej dojrzałości w porównaniu z odpowiednimi wartościami z serii niewapnowanej (Ca₀). Wyższa dawka węglanu wapnia (Ca₂) pociągała za sobą dalsze obniżenie ilości siarczanów w glebie. Obniżenie to było ponad 2,5-3,5-krotne w doświadczeniu z rzepakiem, 4,5-5,5-krotne w przypadku gorczycy ścinanej we wcześniejszej fazie oraz 8,5-13-krotne, gdy roślinę tę sprzątano w okresie pełnej dojrzałości. Związane to było najprawdopodobniej z wysokimi wymaganiami roślin w stosunku do siarki oraz z wielkością uzyskiwanych plonów (12, 13). W obiektach wapnowa-

Tab. 2. Schemat doświadczenia
Experimental design

Lp.	Obiekt	Legenda
1	S ₀ Ca ₀	S ₀ – bez nawożenia siarką
2	S ₁ Ca ₀	S ₁ – nawożenie siarką w postaci Na ₂ SO ₄ w ilości 0,012 g S · kg ⁻¹ gleby
3	S ₂ Ca ₀	S ₂ – nawożenie siarką w postaci Na ₂ SO ₄ w ilości 0,024 g S · kg ⁻¹ gleby
4	S ₀ Ca ₁	Ca ₀ – bez wapnowania
5	S ₁ Ca ₁	Ca ₁ – wapnowanie węglanem wapnia według 0,5 Hh – 0,582 g CaO
6	S ₂ Ca ₁	100% · kg ⁻¹ gleby
7	S ₀ Ca ₂	Ca ₂ – wapnowanie węglanem wapnia według 1,0 Hh – 1,164 g CaO
8	S ₁ Ca ₂	100% · kg ⁻¹ gleby
9	S ₂ Ca ₂	

nych na poziomie Ca₂ analizowane rośliny wydały najwyższe plony, stąd również pobranie S-SO₄ było tu znacznie wyższe w porównaniu z plonami z pozostałych obiektów. Ponadto stwierdzone mniejsze ilości siarczanów w glebie z serii wapnowanej mogły również wynikać z wiązania ich przez jony wapnia i zmniejszenia ich rozpuszczalności.

Wpływ nawożenia siarką na zawartość siarki siarczanowej w glebie zależał w dużym stopniu od dawki tego składnika, poziomu wapnowania i gatunku uprawianej rośliny testowej. W serii niewapnowanej stosowanie siarczanu sodu w ilości 0,024 g S/kg gleby powodowało 1,5-krotny wzrost poziomu S-SO₄ w glebie w porównaniu z zawartością w serii nawożonej niższą dawką nawozu siarkowego (S₁) i 1,5-2,5-krotny w stosunku do ilości stwierdzonej w próbach przed doświadczeniem. Wiązało się to zapewne ze słabym plonowaniem roślin w tych obiektach. Natomiast wpływ Na₂SO₄ na zawartość jonów siarczanowych w glebie wapnowanej na poziomie Ca₂ w dużej mierze korelował z gatunkiem uprawianej rośliny testowej. Podczas gdy po zbiorze roślin z rodziny krzyżowych obserwowano 1,5-3,5-krotne zwiększenie zawartości S-SO₄ w glebie z obiektów nawożonych wyższą dawką siarki, to po ścięciu zbóż odnotowano tendencję odwrotną, czyli 1,5-krotny spadek koncentracji tego składnika w porównaniu z ilością stwierdzoną w serii z niższą dawką nawozu siarkowego (S₁).

Na podkreślenie zasługuje również fakt, że zawartość siarczanów w glebie w większości obiektów była znacznie wyższa po zbiorze roślin zbożowych, uprawianych po rzepaku i gorczycy. Związane to było z uwalnianiem się jonów siarczanowych w procesie mineralizacji bogatych w ten składnik resztek poźniwnych, zwłaszcza korzeni roślin krzyżowych. Procesowi mineralizacji sprzyjał wąski stosunek węgla do siarki, charakterystyczny dla roślin o wysokich wymaganiach względem tego składnika (15). Kilkakrotnie wyższe zawartości S-SO₄ wystąpiły głównie w materiale glebowym z obiektów wapnowanych wyższą dawką CaCO₃, w których rośliny przedplonowe wydały najwyższe plony części nadzie-

Tab. 3. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki siarczanowej w glebie ($\text{mg S} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 The effect of sulphur fertilization and liming on the content of sulphate sulphur in the soil ($\text{mg S} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Lata Roślina	Obiekt	S-SO ₄								
		Ca ₀			Ca ₁			Ca ₂		
		S ₀	S ₁	S ₂	S ₀	S ₁	S ₂	S ₀	S ₁	S ₂
1997	Po zbiorze rzepaku w fazie kwitnienia	17,0	27,8	26,6	11,2	9,0	8,3	4,8	7,4	10,4
1998	Po zbiorze jęczmienia w fazie kwitnienia	19,6	28,4	37,6	19,2	25,0	22,0	17,6	24,3	24,1
1997	Po zbiorze rzepaku w okresie pełnej dojrzałości	7,5	19,0	24,9	6,4	10,4	11,4	5,5	3,2	11,2
1998	Po zbiorze jęczmienia w okresie pełnej dojrzałości	20,9	25,0	21,7	33,3	25,2	23,7	24,2	26,1	17,7
1997	Po zbiorze gorczycy w fazie kwitnienia	21,8	25,4	49,9	11,6	7,9	15,4	4,8	4,7	10,4
1998	Po zbiorze owsa w fazie kwitnienia	22,2	28,8	36,0	24,7	22,5	28,0	26,4	27,4	23,6
1997	Po zbiorze gorczycy w okresie pełnej dojrzałości	26,8	31,9	52,5	12,4	6,8	7,1	2,7	3,8	4,0
1998	Po zbiorze owsa w okresie pełnej dojrzałości	14,2	28,8	24,5	17,2	20,4	18,8	18,5	23,5	16,6
Przed doświadczeniem		19,7								

mnych, a tym samym wytworzyły największą masę korzeniową. Taka prawidłowość nie wystąpiła tylko w glebie z serii niewapnowanej, po zbiorze owsa w fazie pełnej dojrzałości. Wynikać to może z tego, że gorczyca w tej serii doświadczalnej charakteryzowała się niewielkim wzrostem, czemu towarzyszyło zapewne wytworzenie małej masy korzeniowej. Niskie zawartości siarczanów w glebie z tych

Tab. 4. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki ogólnej w glebie ($\text{mg S} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 The effect of sulphur fertilization and liming on the content of total sulphur in the soil ($\text{mg S} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Lata Roślina Obiekt	S og.								
	Ca ₀			Ca ₁			Ca ₂		
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₀	S ₁	S ₂	S ₀	S ₁	S ₂
1998 Po zbiorze jęczmienia w fazie kwitnienia	81,1	92,0	131,1	102,2	83,3	171,0	81,1	112,1	173,3
1998 Po zbiorze jęczmienia w okresie pełnej dojrzałości	182,1	161,2	151,0	171,1	161,1	133,2	182,3	151,2	192,2
1998 Po zbiorze owsa w fazie kwitnienia	111,1	143,0	132,3	111,1	121,1	112,2	111,2	121,2	103,1
1998 Po zbiorze owsa w okresie pełnej dojrzałości	122,0	131,1	112,1	122,2	103,2	91,3	191,2	103,1	91,1
Przed doświadczeniem	162,2								

obiektów mogą wiązać się również z wysokim ich pobraniem przez odporny na kwaśny odczyn gleby owies.

Zawartość siarki ogólnej w glebie przed rozpoczęciem doświadczenia i po dwóch latach trwania badań zamieszczono w tabeli 4. Najniższą ilość tej formy siarki zanotowano w próbach glebowych pobranych po sprzęcie jęczmienia w fazie kwitnienia. W tej serii doświadczalnej ilość S ogółem zawierała się w przedziale $81,1\text{--}173,3 \text{ mg S} \cdot \text{kg}^{-1}$ i była 1,5-2-krotnie niższa w stosunku do ilości stwierdzonej przed doświadczeniem. Tak duży ubytek siarki ogółem w glebie wskazuje na to, że część z niej uległa przemianom w związki mineralne i została pobrana przez rośliny. Niższe zawartości siarki ogółem w porównaniu z ilością S_{og.} w próbach przed doświadczeniem wystąpiły również w glebie z większości obiektów po sprzęcie owsa w fazie kwitnienia i w okresie pełnej dojrzałości. Uzyskane dane wskazują na to, że ilości siarki całkowitej, przekraczające wartości odnotowane przed rozpoczęciem badań, wystąpiły w glebie z serii nie nawożonej tym składnikiem po sprzęcie jęczmienia w okresie pełnej dojrzałości.

Spośród zastosowanych czynników doświadczalnych jedynie nawożenie siarką w formie Na_2SO_4 miało większy wpływ na ilość S ogólnej w glebie. W obiektach, w których jęczmień ścinano w fazie kwitnienia, stosowanie siarczanu sodu w dawce

0,024 g S/kg wiązało się z 1,5-2-krotnym podwyższeniem zawartości siarki ogólnej w stosunku do ilości z serii nawożonej w dawce S_1 . W glebie z pozostałych obiektów obserwowano 6,5-21-procentowy spadek poziomu analizowanego składnika. Mogło to mieć związek z większym pobraniem siarki przez rośliny, które w rozpatrywanych obiektach wydały najwyższe plony.

WNIOSKI

1. Ilość siarczanów w glebie wyraźnie obniżyła się w wyniku stosowania obydwu dawek węgla wapnia, przy czym najwyraźniej zaznaczyło się to w przypadku materiału glebowego analizowanego po ścięciu rzepaku i gorczycy w fazie kwitnienia oraz po zbiorze gorczycy w okresie pełnej dojrzałości.

2. W analizowanych próbach glebowych nawożenie siarką wpłynęło na 1,5-2,5-krotny wzrost zawartości siarki siarczanowej. Najwyższy wzrost siarczanów wystąpił w glebie z serii niewapnowanej.

3. Nawożenie siarką wpłynęło na wzrost ilości S_{og} w glebie z obiektów, w których zbierano jęczmień w fazie kwitnienia. W próbach glebowych pobranych po sprzęcie rzepaku, gorczycy i owsa zabieg ten wiązał się natomiast z wyraźnym obniżeniem zawartości siarki całkowitej.

PIŚMIENNICTWO

1. Białobok S.: Zjawisko kwaśnych deszczów. Kosmos, 1 (190), 43-63, 1986.
2. Bloem E. M.: Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft, 192, 1-156, 1998.
3. Boratyński K., Grom A., Ziutecka M.: Badania nad zawartością siarki w glebie. Cz. I. Rocz. Gleb., XXVI, 3, 121-139, 1975.
4. Butters B., Chenery E. M.: A Rapid Method for the Determination of Total Sulphur in Soils and Plants. Analyst, 84, 239-245, 1959.
5. Dechnik I., Gliński J., Kaczor A.: Określenie możliwości doboru wskaźników roślinnych do oceny stopnia zagrożenia środowiska rolniczego kwaśnymi opadami. Probl. Agrof., 63, 5-52, 1991.
6. Dechnik I., Gliński J., Kaczor A., Kern H.: Rozpoznanie wpływu kwaśnych deszczy na glebę i roślinę. Probl. Agrof., 60, 3-70, 1990.
7. Eriksen J.: Sulphur Cycling in Danish Agricultural Soils. Fertilization for Sustainable Plant Production and Soil Fertility - 11th World Fertilizer Congress of CIEC, Gent, Proc., vol. 2, 64-72, 1997.
8. Fotyma E., Boreczek B.: Siarka - zagrożenie czy pierwiastek niedoborowy w rolnictwie. Wieś Jutra, 5(5), 21-22, 1998.
9. Kalembasa S., Amberger A., Symanowicz B., Godlewska A.: Zawartość organicznych i nieorganicznych związków siarki i fosforu w glebie po wieloletnim zróżnicowanym nawożeniu. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 421a, 173-179, 1995.

10. Koter M., Panak H., Grzesiuk W., Chodań J.: Badania nad sorpcją siarczanów przez niektóre substancje próchniczne gleb za pomocą S-35. *Rocz. Gleb.*, XV, 1, 37-50, 1965.
11. Malhi S. S., Heier K.: Feasibility of Elemental S Fertilizers as a Source of S on Grassland. Fertilization for Sustainable Plant Production and Soil Fertility - 11th World Fertilizer Congress of CIEC, Gent, Proc., vol. 1, 384-391, 1997.
12. Mc Grath S. P., Zhao F. J.: Sulphur Uptake, Yield Responses and the Interactions Between Nitrogen and Sulphur in Winter Oilseed Rape (*Brassica napus*). *J. of Agricultural Science, Cambridge*, 126, 53-62, 1996.
13. Mc Grath S. P., Zhao F. J., Withers P. J. A.: Development of Sulphur Deficiency in Crops and Its Treatment. *The Fertiliser Society*, 3-47, London, 1996.
14. Middleton N.: *The Global Casino*. (sec. edit.) London, 353, 1999.
15. Motowicka-Terelak T., Terelak H.: Siarka w glebach Polski - stan i zagrożenie. *PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska*, 106, Warszawa 1998.
16. Pawłowski L.: Kwaśne deszcze w USA. *Aura*, 4, 16-17, 1988.
17. Peacock S., Evans E. J., Monaghan J. D., Rimmer D. L.: 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 - 10th International Symposium of CIEC, Proc., 237-242, 1996.
18. Rejman-Czajkowska M.: Badania nad siarką w literaturze gleboznawczej. *Post. Nauk Roln.*, 4, 91-112, 1971.
19. Ruszkowska M., Sykut S., Rębowska Z., Kusio M.: Bilans składników pokarmowych w doświadczeniu lizymetrycznym (1985-1989). Cz. II. Bilans wapnia, magnezu i siarki. *Pam. Puł.*, 103, 79-97, 1993.
20. Schung E.: Sulphur Nutritional Status of European Crops and Consequences for Agriculture. *Sulphur in Agriculture*, 15, 7-12, 1991.
21. Skłodowski P.: Rozmieszczenie siarki w profilach glebowych niektórych typów gleb Polski. *Rocz. Gleb.*, XIX, 1, 99-117, 1968.
22. Sweeney P. M.: Commercial development of sulphur fertilizers in Europe. *Sulphur in Agriculture*, 19, 68-73, 1995.
23. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pasternacki J.: Zawartość różnych form siarki w glebach mineralnych Polski. *Pam. Puł.*, 91, 5-59, 1988.
24. Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K.: Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 418, 45-60, 1995.
25. Won-Sa K.: Sulphur mineralogy in soils. International Symposium on Sulphur for Korean Agriculture. Seoul, Korea. Proc., 67-71, 1988.
26. Zhao F. J., Hawkesford M. J., Warrilow A. G. S., Mc Grath S. R., Clarkson D. T.: Responses of Two Wheat Varieties to Sulphur Addition and Diagnosis of Sulphur Deficiency. *Plant and Soil*, 181, 317-327, 1996.

SUMMARY

The purpose of the studies was to establish the range of effect of sulphur fertilization and liming on the formation of sulphate sulphur and total sulphur in the soil. The studies were conducted on the basis of two strict 2-year-long series of pot experiments with rape, mustard, barley and oats. They included two changeable factors (a dose of sulphur and a dose of lime) on three levels. Sulphur fertilization and liming were performed once before the experiment was set.

The experimental factors clearly affected changes of the quantity of S-SO₄ and S total in the soil. Introducing calcium carbonate caused a distinct drop of S-SO₄ content in the soil material coming first of all from the objects where a higher lime dose calculated according to 1.0 Hh was used. The effect of sulphur fertilization on the formation of S-SO₄ in the soil was related to the dose of this element, the level of liming and the species of the tested plant. A clear increase of the content of sulphate ions took place especially in the series that was not limed, and it was 1.5-2.5 times higher as compared to the amount found in the tests before the experiment. In the limed objects, especially on the level of Ca₂, the application of sulphur caused an increase of sulphur concentration in the soil material analyzed after the harvest of plants from crossing family, and a decrease of the content of this element after the harvest.

The content of total sulphur in the soil was mainly related to fertilization with this element. A higher dose of sodium sulphate caused an increase of total S in the soil material coming from the objects where oat was cut in the phase of anthesis. In the other objects a clear drop of the content of the analyzed form of sulphur was found out.