

Monika Jakubus
Akademia Rolnicza w Poznaniu

Wykorzystanie metody „Test KCl – 40” do oszacowania zasobności gleb uprawnych w siarkę przyswajalną dla roślin

Application of „KCl – 40 test” in assessment of arable soils abundance
in plant available sulphur

Słowa kluczowe: siarka przyswajalna dla roślin, Test KCl – 40, kategoria agronomiczna

Key words: sulphur available for plants, Test KCl – 40, agronomic category

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące zawartości i rozmieszczenia siarki przyswajalnej, określonej metodą „Test KCl – 40” (Blair i in. 1991) w poszczególnych kategoriach agronomicznych gleb uprawnych. Zawartości siarki przyswajalnej były zróżnicowane między kategoriami agronomicznymi gleb, wahając się w wartościach średnich od 9,7 mg/100 g w glebach bardzo lekkich i 11,5 mg/100 g w glebach lekkich do 9,1 mg/100 g w glebach średnich i 7,7 mg/100 g w ciężkich. Poziom siarki przyswajalnej w glebach był determinowany głównie przez ich właściwości chemiczne, co zostało ujawnione we wszystkich badanych glebach poszczególnych kategorii agronomicznych. Uwagę zwraca silne oddziaływanie zawartości węgla organicznego oraz siarki siarczanowej gleb na ilość siarki przyswajalnej. Jednocześnie należy podkreślić brak wpływu odczynu gleb oraz tendencję wskazującą na zmniejszanie się średnich wyekstrahowanych ilości siarki przyswajalnej wraz ze wzrostem procentowego udziału frakcji spławialnej (< 0,02 mm) w glebach.

The current work presents the results of the investigations related to plant – available sulphur content in arable soils. The “KCl – 40 Test” by Blair et al. (1991) was applied in the studies. The researches were conducted on very light (of fraction 0.02 mm < 10%), light (11–20%), medium (21–35%) and heavy (> 35%) soils. It was found that the content of plant — available sulphur was different in different agronomic categories of soil. These mean values ranged from 9.7 mg/100 g in very light and 11.5 mg/100g in light soils to 9.1 mg/100g in medium and 7.7 mg/100g in heavy soils. The level of plant-available sulphur in soil was mainly determined by chemical properties. Especially the effect of organic carbon and soil sulphur sulphate on amount of analysed sulphur form was worth noticing. At the same time the lack of influence of soil pH on available sulphur was found. Moreover, it was stated that mean content of plant available sulphur decreased when the content of clay fraction (< 0.02) increased.

Wprowadzenie

Ograniczenie emisji związków siarki do gleby, jakkolwiek będące korzystnym zjawiskiem, może przyczyniać się do niedoborów tego składnika u roślin polowych

(Shung i Haneklaus 1998, Zhao i McGrath 1994), szczególnie u gatunków siarkolubnych z rodziny *Cruciferae* i *Liliaceae*. Dlatego zapobieganie deficytowi siarki u roślin poprzez prawidłowe ich zaopatrzenie powinno przede wszystkim uwzględniać element oceny zasobności gleb w stosunku do siarki przyswajalnej.

Określenie zawartości siarki ogólnej ma małe zastosowanie jako indeks siarki przyswajalnej dla roślin (Freney i in. 1962). Również powszechnie wykorzystywana ilość siarki siarczanowej, traktowana jako szybko dostępna dla roślin, nie spełnia oczekiwań w diagnozowaniu stanu zaopatrzenia gleb w składnik przyswajalny. Wynika to z nieuwzględniania frakcji labilnej siarki organicznej, która może być mineralizowana, a przez to przyswajalna dla roślin (Stewart i Sharpley 1987). Według Messick'a (1992) test siarki siarczanowej daje pogląd na ilość tej formy dla roślin tylko w momencie pobrania. Nie bierze natomiast pod uwagę, ile będzie siarki dostępnej z innych składników włączonych w cykl obiegu siarki w środowisku, takich jak utlenienie materii organicznej, czy udział opadów. W związku z tym w ostatnich latach podjęto badania nad opracowaniem metody pozwalającej na jednoczesną ekstrakcję szybko dostępnych siarczanów, zaadsorbowanych siarczanów oraz labilnej frakcji siarki organicznej. Szczególnie ważna była możliwość określenia puli siarki organicznej, ponieważ forma ta podlegając procesowi mineralizacji, staje się najważniejszym obok siarczanów źródłem siarki przyswajalnej dla roślin w roztworze glebowym (Anderson i in. 1992, Kalembasa i in. 1995, Zhao i Mc Grath 1994). Ten warunek spełnia opracowany przez Blair'a i in. (1991) „Test KCl – 40”.

Material i metody

Próby glebowe pochodziły z warstwy ornej (0–25 cm) użytków ornych całego terenu byłego województwa poznańskiego. Miejsca pobrania prób ustalono w oparciu o mapę w skali 1 : 100 000, wyznaczając punkty w środku kwadratu o bokach 2 × 2 km. W uzyskanych w ten sposób próbach glebowych po uprzednim wysuszeniu w temperaturze pokojowej i przesianiu przez sito o średnicy oczek 2 mm wykonano podstawowe analizy określające właściwości fizyczne i chemiczne gleb. Uzyskane dla nich dane zawarto w tabeli 1. Do wyznaczenia badanych właściwości gleb wykorzystano powszechnie stosowane metody w analityce chemiczno–rolniczej:

1. Skład granulometryczny określono metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande'a i Prószyńskiego.
2. Odczyn gleby określono w 1 mol/dm³ KCl przy stosunku gleba – roztwór 1 : 2,5.
3. Węgiel organiczny oznaczono metodą Tiurina.

Tabela 1

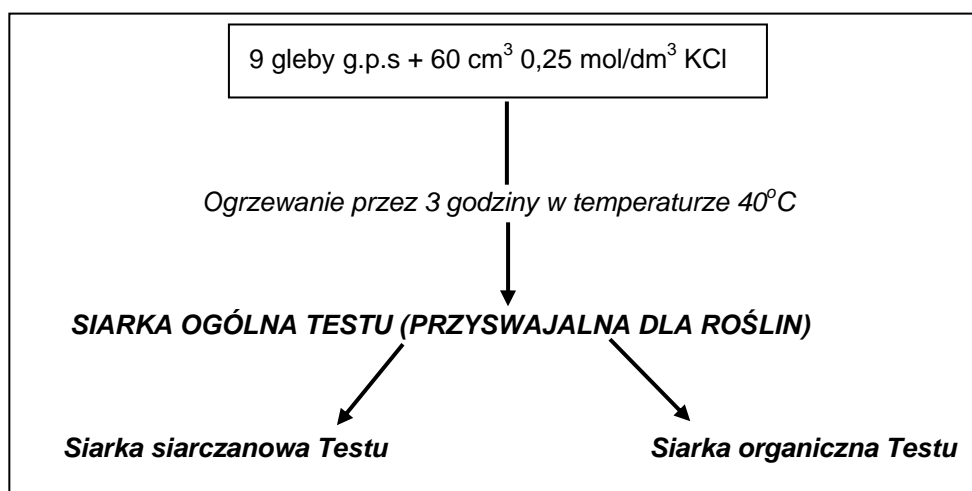
Niektóre właściwości badanych gleb — *Some properties of analysed soils*

Kategoria agronomiczna gleby <i>Agronomic category</i>	n	pH	C _{org.} g/kg	Siarka — <i>Sulphur</i>			% S-SO ₄ w S ogólna % S-SO ₄ in S total
				ogólna <i>total</i>	S-SO ₄	organiczna <i>organic</i>	
				mg/100g			
Bardzo lekka — <i>Very light</i>	46	5.5	19.1	53.7	2.9	50.8	5.4
Lekka — <i>Light</i>	84	6.0	20.1	55.5	4.9	50.2	8.8
Średnia — <i>Medium</i>	66	6.2	15.2	43.9	3.1	40.8	7.1
Ciężka — <i>Heavy</i>	9	6.7	10.0	41.6	2.3	39.3	5.5

Dla określenia ilości siarki ogólnej i siarczanowej wykorzystano metody turbidymetryczne Buttersa i Chenery (1959) oraz Bardsleya i Lancastera (1960). Zawartość siarki organicznej oznaczono z różnicy ilościowej między siarką ogólną a siarczanową.

W oparciu o procentową ilość części spławialnych, mówiących o frakcji granulometrycznej cząstek o średnicy <0,02 mm, sprecyzowano 4 kategorie agronomiczne gleb: bardzo lekkie (< 10%), lekkie (11–20%), średnie (21–35%) oraz ciężkie (>35%).

Ilość siarki przyswajalnej dla roślin oznaczono metodą „Test KCl – 40” (Blair i in. 1991). Celem lepszej interpretacji uzyskanych wyników dotyczących przyswajalności siarki procedura metody została rozszerzona o dodatkowe wydzielenie frakcji siarki siarczanowej Testu oraz organicznej Testu co prezentuje poniższy schemat:



Wyniki

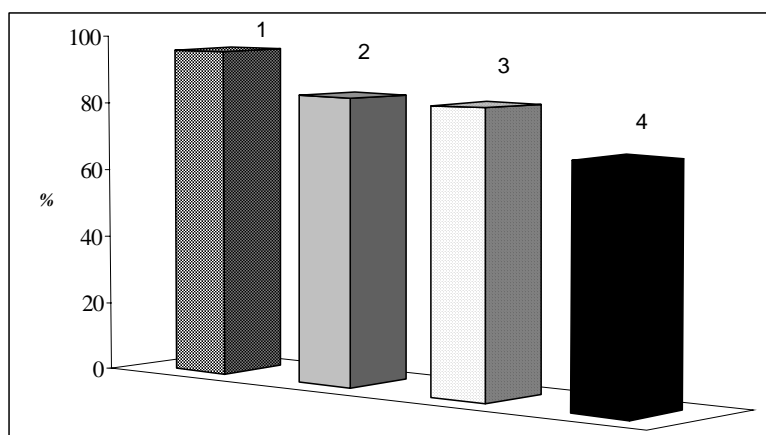
Ogólne zawartości siarki Testu były zróżnicowane między kategoriami agronomicznymi gleb (tab. 2), wahając się w wartościach średnich od 9,7 mg w glebach bardzo lekkich i 11,5 mg w glebach lekkich do 9,1 mg w glebach średnich i 7,7 mg S/100 g w glebach ciężkich. Podobne zmiany miały miejsce w ilościach siarki siarczanowej i organicznej Testu. Najmniej tych form siarki odnotowano w glebach ciężkich (1,6 S-SO₄ mg/100 g oraz 6,1 mg S_{org.}/100 g), a najwięcej w glebach lekkich (4,1 mg S-SO₄/100 g oraz 7,4 mg S_{org.}/100 g).

Tabela 2
Zawartość form siarki przyswajalnej dla roślin w poszczególnych kategoriach agronomicznych gleb uprawnych — *Content of plant – available sulphur forms in agronomic categories of arable soils* [mg/100 g gleby]

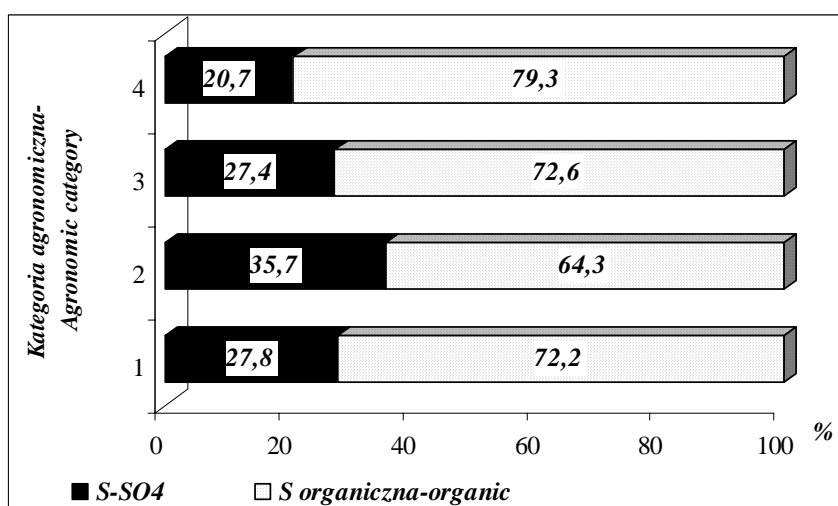
Kategoria gleb <i>Soil category</i>	Ogólna — <i>Total</i>			Siarczanowa — <i>Sulphate</i>			Organiczna — <i>Organic</i>		
	średnio <i>mean</i>	zakres <i>range</i>	SD	średnio <i>mean</i>	zakres <i>range</i>	SD	średnio <i>mean</i>	zakres <i>range</i>	SD
Bardzo lekka <i>Very light</i>	9,7	4,7–24,5	4,0	2,7	1,1–12,9	2,6	7,0	3,0–12,0	2,3
Lekka — <i>Light</i>	11,5	4,1–47,7	6,6	4,1	0,7–35,3	5,8	7,4	1,0–16,2	2,3
Średnia — <i>Medium</i>	9,1	3,2–22,4	3,1	2,5	0,7–9,7	1,7	6,6	1,4–17,8	2,8
Ciężka — <i>Heavy</i>	7,7	5,5–12,1	2,2	1,6	0,5–2,5	0,8	6,1	4,4–10,1	1,8

W oparciu o przytoczone dane dostrzec można tendencję świadczącą o obniżaniu się średnich zawartości siarki ogólnej, siarczanowej i organicznej Testu w kierunku od gleb kategorii bardzo lekkiej do gleb kategorii ciężkiej.

Pośrednio potwierdzenie powyższej zależności wynika z analizy statystycznej między zawartością frakcji spławialnej (<0,02 mm) gleb a ilością S-SO₄ Testu, stwierdzające istotnie ujemną korelację, głównie w glebach ciężkich ($r = -0,82^*$). Dowodzi to, że w warunkach analizy gleb ciężkich metodą Testu KCl – 40 do ekstraktu przechodziło zdecydowanie mniej siarczanów niż z pozostałych kategorii agronomicznych. Potwierdzeniem tego są relacje między zawartościami siarki siarczanowej gleb i Testu. W wartościach względnych okazało się, że udział S-SO₄ Testu w stosunku do tej formy w glebach zmieniał się również od gleb bardzo lekkich (93,1%) i lekkich (83,7%) do średnich (83,3%) i ciężkich (69,6%) (rys. 1). Jednocześnie procentowe udziały S-SO₄ Testu w jej zawartości ogólnej były średnio czterokrotnie większe w stosunku do odpowiednich udziałów siarki siarczanowej gleb (rys. 2 i tab. 1).



Rys. 1. Relatywna zawartość siarki siarczanowej Testu w stosunku do siarki siarczanowej gleby w poszczególnych kategoriach agronomicznych — *Content of Test sulphur sulphate in relation to soil sulphur sulphate content in agronomic categories*



- 1 — gleby bardzo lekkie — *very light soils*
 2 — gleby lekkie — *light soils*
 3 — gleby średnie — *medium soils*
 4 — gleby ciężkie — *heavy soils*

Rys. 2. Procentowy udział form siarki organicznej i siarczanowej w zawartości ogólnej siarki przyswajalnej dla roślin w glebach — *Percentage share of sulphate and organic forms in total plant-available sulphur content in soils*

Z punktu widzenia oceny Testu ważne wydają się być wzajemne relacje między obu formami. Istotność tego związku potwierdzają wartości współczynnika korelacji wynoszące dla gleb bardzo lekkich $r = 0,92^{**}$, lekkich $r = 0,90^{**}$, średnich $r = 0,77^{**}$ i ciężkich $r = 0,45^*$.

Znaczny wpływ S-SO₄ gleby został ujawniony również w kształtowaniu ogólnych ilości siarki Testu wszystkich kategorii agronomicznych gleb, co szczególnie uwidoczniło się w przypadku gleb lekkich (rys. 3) oraz ciężkich (rys. 4). Omawiając oddziaływanie siarki siarczanowej gleby na formy siarki Testu należy podkreślić, że tylko w glebach ciężkich siarka organiczna Testu była determinowana przez nią ($r = 0,74^*$). Zależność tę przedstawia poniższe równanie regresji prostoliniowej w postaci (rys. 4):

$$S_{\text{org. Testu}} = 3,534 + 1,307 \text{ S-SO}_4 \text{ gleby}$$

Wśród rozpatrywanych właściwości chemicznych gleb na uwagę zasługuje zdecydowany brak wpływu odczynu gleb na którąkolwiek frakcję S Testu w glebach wszystkich kategorii agronomicznych. Natomiast charakterystyczna, wyróżniająca się na tle innych, jest ścisła zależność pomiędzy C organicznym gleby a zawartością S-SO₄ Testu ujawniona w glebach wszystkich kategorii agronomicznych. Szczególnie silnie zaznaczyła się ona w glebach kategorii średniej ($r = 0,70^{**}$) oraz ciężkiej ($r = 0,83^{**}$). Oba związki zostały opisane równaniami regresji prostoliniowej wielomianowej, które dla gleb średnich przybrało postać (rys. 5):

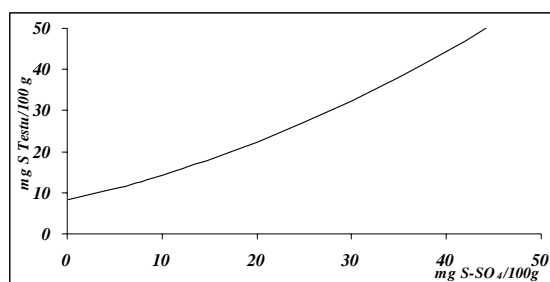
$$\text{S-SO}_4 \text{ Testu} = 1,292 + 0,082 \text{ C}$$

a dla gleb ciężkich (rys. 6):

$$\text{S-SO}_4 \text{ Testu} = 0,422 + 0,114 \text{ C}$$

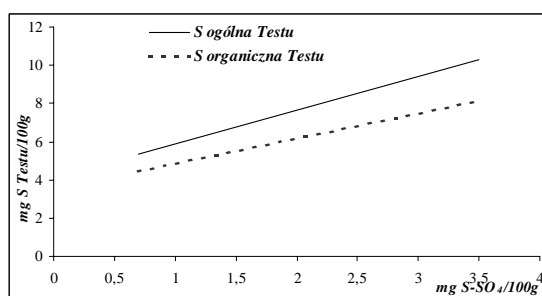
Na ogólną ilość siarki w wyciągu 0,25 mol/dm³ KCl składa się siarka siarczanowa i organiczna. Z obliczeń opartych o dane zawarte w tabeli 2 wynika, że dominującą była siarka organiczna. Stanowiła ona w S ogółem Testu od 72,2% w glebach bardzo lekkich do 79,3% w ciężkich (rys. 2). Spośród licznych współzależności występujących między formami siarki Testu odnotować należy, wyróżniające się na tle innych wysoce istotne i ścisłe związki między ilością S ogólnej Testu i siarczanowej Testu ($r = 0,94^{**}$), zaobserwowane na glebach lekkich oraz między zawartością siarki ogólnej Testu a zawartością siarki organicznej Testu ($r = 0,96^{**}$) na glebach ciężkich.

Rekapitulując uzyskane dane należy stwierdzić, że siarka ogólna Testu utożsamiana z siarką przyswajalną stanowiła w badanych glebach od 3,2 do 47,7; średnio 9,5 mg S/100 g gleby, niezależnie od kategorii agronomicznej. Kierunek zmian w zawartościach form siarki Testu jest zgodny z tym, jaki został odnotowany dla siarki ogólnej, siarczanowej i organicznej gleb. Mimo różnic pomiędzy siarką Testu a siarką glebową, silne oddziaływanie tej ostatniej na poszczególne formy siarki Testu było zauważalne. Szczególnie wyraźnie wpływała na ich poziom siarka siarczanowa gleby.



$$S_{\text{og. Testu}} = 8,331 + 0,501 S\text{-SO}_4 + 0,01 S\text{-SO}_4^2; r^2 = 0,77^{**}$$

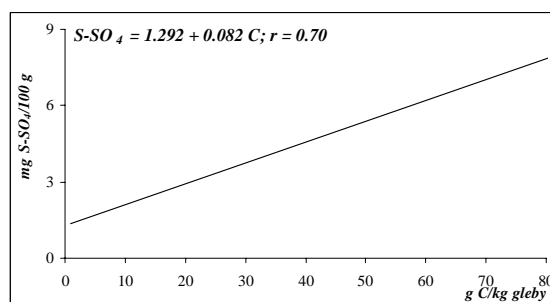
Rys. 3. Zależność między zawartością siarki siarczanowej gleby a ilością siarki ogólnej Testu w glebach lekkich — *Dependence between soil sulphur sulphate content and Test total sulphur content in light soils*



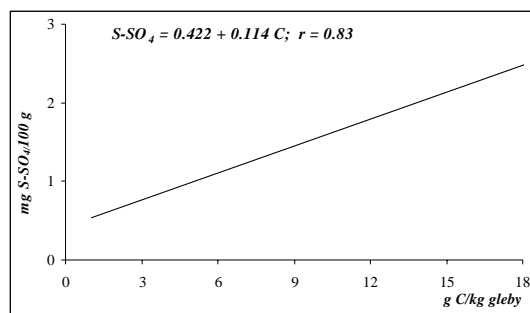
$$S_{\text{og. Testu}} = 4,146 + 1,754 S\text{-SO}_4; r = 0,83^{**}$$

$$S_{\text{org. Testu}} = 3,534 + 1,307 S\text{-SO}_4; r = 0,74^*$$

Rys. 4. Zależność między zawartością siarki siarczanowej gleby a ilością siarki ogólnej i organicznej Testu w glebach ciężkich — *Dependence between soil sulphur sulphate content and Test total and organic sulphur content in heavy soils*



Rys. 5. Zależność między zawartością węgla organicznego gleb a ilością siarki siarczanowej Testu w glebach średnich — *Dependence between soil organic carbon content and Test sulphur sulphate content in medium soils*



Rys. 6. Zależność między zawartością węgla organicznego gleby a ilością siarki siarczanowej Testu w glebach ciężkich — *Dependence between soil organic carbon content and Test sulphur sulphate content in heavy soils*

Dyskusja

Zastosowany „Test KCl – 40” pozwala, według autorów metody, na oszacowanie siarki przyswajalnej, na którą składają się siarczany w roztworze glebowym i zaadsorbowane oraz z części materii organicznej, która podlegając przemianom staje się źródłem siarki dostępnej dla roślin. O przydatności Testu świadczy fakt, iż jest on stosowany w coraz większym stopniu w krajach zachodnich w prognozowaniu stanu zaopatrzenia gleb w siarkę przyswajalną dla roślin.

W analizowanych glebach szczególną uwagę zwracają zależności potwierdzające znaczenie i wpływ materii organicznej oraz siarczanów zawartych w roztworze glebowym na wielkość frakcji przyswajalnej pierwiastka. W pierwszej kolejności należy wyróżnić związek ujawniony między S_{og} Testu a C organicznym gleb, o czym również donosi literatura (Eriksen i in. 1998). Jednak szczególną uwagę zwraca wysoce istotna zależność między S–SO₄ Testu i C organicznym gleby. Pozwala to przypuszczać, iż zdecydowana część formy siarczanowej Testu jest zmineralizowaną frakcją labilną siarki organicznej gleb. Również wysoka wartość współczynnika korelacji między siarką ogólną Testu a siarką organiczną Testu wskazuje na znaczenie siarki organicznej, będącej potencjalnym źródłem pierwiastka dla roślin, po jej wcześniejszej mineralizacji.

Wysokie współczynniki korelacji między S–SO₄ gleb a ilością S ogólnej i siarczanowej Testu świadczą, iż zdecydowana część siarki dostępnej gleby wchodzi w skład siarki przyswajalnej dla roślin.

Dane zamieszczone w tabeli 2 wyraźnie wskazują na większą podatność gleb bardzo lekkich i lekkich na ekstrakcję 0,25 mol KCl/dm³ niż gleb ciężkich, co jest sprzeczne z danymi innych badaczy (Blair i in. 1991). Uzasadnieniem powyższych rozbieżności może być intensywniejszy proces mineralizacji labilnych form siarki organicznej gleby na glebach bardzo lekkich i lekkich. Tym bardziej,

że wspomniane gleby charakteryzują się niskim udziałem części spławialnych, które według Eriksen'a i in. (1998) są głównym czynnikiem zabezpieczającym siarkę organiczną przed jej szybką mineralizacją. Szczególną uwagę zwraca się na stabilność kompleksów estrów siarczanowych z częściami spławialnymi oraz wysokocząsteczkowymi związkami próchnicznymi.

Procesowi mineralizacji towarzyszy proces immobilizacji, który zabezpiecza pierwiastek przed wymyciem. Szereg danych uzyskanych w pracy wskazuje na dominację uwalniania siarczanów z połączeń organicznych, co szczególnie silnie zostało zaakcentowane w wynikach badań nad „Testem KCl – 40”. Wykazana w pracy zależność między siarką siarczanową gleby oraz siarką organiczną Testu ($r = 0,74^*$) dla gleb ciężkich sugeruje występowanie zjawiska immobilizacji. Na możliwość zaistnienia powyższego procesu wskazują wyniki badań Goh'a i Gregg'a (1982). Według nich w glebach o większej wilgotności oraz zawartości węgla immobilizacja zachodzi intensywniej. Ponadto stosowane niższe dawki nawozów mineralnych zawierających siarkę sprzyjają szybszej immobilizacji siarczanów.

Reasumując, uzyskane wyniki w oparciu o wykorzystany w badaniach „Test KCl – 40” pozwoliły na określenie zdolności gleb uprawnych do zaspokajania potrzeb pokarmowych roślin w stosunku do siarki. Jednocześnie wykazano, iż efektywność procesu zaopatrzenia roślin w dużej mierze zagwarantowana jest przez odpowiedni poziom siarki siarczanowej i organicznej, które silnie kształtują ilość siarki przyswajalnej dla roślin w glebach.

Powyższe informacje mogą mieć zastosowanie w praktyce rolniczej obejmującej właściwe nawożenie oraz uprawę gleb i roślin. Ponadto pozwalają spełnić wymogi ekonomiczne i ekologiczne współczesnego rolnictwa poprzez zrównoważone i dostosowane do konkretnych gleb, jak i roślin dawki nawozów mineralnych oraz organicznych zawierających związki siarki.

Mając na uwadze obniżkę plonów oraz spadek wartości pokarmowej paszy w wyniku niekorzystnych zmian chemicznych w roślinie wywołanych deficytem siarki, przydatność „Testu KCl – 40” w diagnozowaniu zasobności gleb pod kątem ich potencjału plonotwórczego wydaje się szczególnie istotna. Wybór wspomnianego testu nie jest bowiem przypadkowy. Blair i in. (1994) w swoich badaniach wykazali, iż spośród różnych metod uzyskali najlepiej statystycznie potwierdzone wyniki mówiące o wysokiej korelacji między ilością siarki a plonem roślin pastewnych oraz rzepaku. Wskazuje to na fakt, iż pula siarki wyekstrahowanej przez roztwór $0,25 \text{ mol KCl/dm}^3$ oraz pobrana przez roślinę jest taka sama.

Zaprezentowane w niniejszej pracy zależności, potwierdzające słuszność i celowość wykorzystania metody „Test KCl – 40” w określaniu siarki przyswajalnej dla roślin wymagają jednakże weryfikacji testem roślinnym. Wobec licznych, często kontrowersyjnych stanowisk na temat diagnozowania stanu siarki w glebach, jak i roślinach wydaje się, iż rzetelną ocenę tego zjawiska można uzyskać tylko w oparciu o wspólne wykorzystanie testu roślinnego wraz z glebowym.

Wnioski

1. Metoda „Testu KCl – 40” ujawniła, że najmniejszą podatnością na ekstrakcję siarki przyswajalnej dla roślin charakteryzują się gleby kategorii ciężkiej.
2. Badania dotyczące siarki przyswajalnej gleby z wykorzystaniem „Testu KCl – 40 wykazały”, że największy istotnie udowodniony wpływ na tę formę pierwiastka miała siarka siarczanowa gleby wskazując na znaczącą rolę tej ostatniej w zabezpieczeniu potrzeb pokarmowych rośliny.
3. Na podstawie uzyskanych danych zaobserwowano tendencję mówiącą o zmniejszaniu się średnich ilości siarki ogólnej, siarczanowej i organicznej Testu wraz ze wzrostem frakcji spławialnej (<0,02 mm) w glebach. Ponadto ujawniono, iż odczyn nie wpływał na zawartość badanych form siarki Testu.
4. Rozpoczęte badania nad określaniem siarki przyswajalnej dla roślin powinny być rozszerzone o test roślinny, pozwalający na pełną weryfikację przydatności metody „Test KCl – 40” w diagnozowaniu zasobności gleb w siarkę.

Literatura

- Anderson G., Lefroy R., Chinoim N., Blair G. 1992. Soil sulphur testing. *Sulphur in Agriculture* 16: 6-14.
- Bardsley C.E., Lancaster J.D. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Soc. Am. Proc.* 24: 265-268.
- Blair G., Chinoim N., Lefroy R., Anderson G., Gocker G.J. 1991. A soil sulfur test for pastures and crops. *Aust. J. Soil Res.* 29: 619-626.
- Blair G.J., Lefroy R.D.B., Chinoim N., Anderson G.C. 1994. The development of a soil test for sulphur. *Norwegian Journal of Agricultural Science. Supplement No. 15:* 83-95.
- Butters B., Chenery E.M. 1959. A rapid method for determination of the total sulphur in soils and plants. *Analyst.* 84: 239-245.
- Eriksen J., Murphy M.D., Chung E. 1998. The soil sulphur cycle. In: „Sulphur in Agroecosystems” Ed. E. Chung. Kluwer Academic Publishers: 39-73.
- Freney J.R., Barrow N.J., Spencer K. 1962. A review of certain aspects of sulphur as a soil constituent and plant nutrient. *Plant and Soil* 17, 3: 295-308.
- Goh K.M., Gregg P.E.H. 1982. Field studies on the fate of radioactive sulphur fertilizer applied to pasture. *Fert. Res.* 3: 337-351.
- Kalambasa S., Amberger A., Symanowicz B., Godlewska A. 1995. Zawartość organicznych i nie-organicznych związków siarki i fosforu w glebie po wieloletnim zróżnicowanym nawożeniu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421a: 173-179.
- Messick D.L. 1992. Soil Test interpretation for sulphur in the United States – an overview. *Sulphur in Agriculture* 16: 24-25.
- Stewart J.N.B., Sharpley A.N. 1987. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. *Soil Fertility and Organic matter as Critical Components of Production Systems. SSSA. Spec. Pub. No. 19:* 101-121.
- Schung E., Haneklaus S. 1998. Diagnosis of sulphur nutrition. In: *Sulphur in Agroecosystems* Ed. E. Chung. Kluwer Academic Publishers: 1-38.
- Zhao F.J., Mc Grath S.P. 1994. Extractable sulphate and organic sulphur in soils and their availability to plants. *Plant and Soil* 164: 243-250.