Acta Agrophysica, 2005, 6(2), 343-351

PLONOWANIE I ZAWARTOŚĆ SIARKI W GORCZYCY BIAŁEJ JAKO EFEKT STOSOWANIA WIELOSKŁADNIKOWYCH NAWOZÓW ZAWIERAJĄCYCH SIARKĘ

Barbara Filipek-Mazur, Krzysztof Gondek

Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: rrfilipe@cyf-kr.edu.pl

S t r e s z c z e n i e. Celem badań była ocena plonowania gorczycy białej i zawartości w niej siarki w wyniku zastosowania do gleby tego pierwiastka w formie nawozów wieloskładnikowych i nawozów mineralnych jednoskładnikowych zawierających siarkę jako składnik uboczny. W pierwszym roku doświadczenia plony suchej masy, zarówno łuszczyn, jak i łodyg wraz z liśćmi, gorczycy białej nie różniły się istotnie między obiektami nawożonymi. Nie zaznaczył się wpływ dodatku siarki, ani formy nawozu zawierającego ten pierwiastek, na wielkość plonów części nadziemnych gorczycy. W drugim roku badań stwierdzono istotnie wyższe plony łuszczyn roślin uprawianych w obiektach z dodatkiem siarki, zastosowanej na tle nawożenia mineralnego. Najwyższe sumaryczne plony gorczycy białej z obu lat badań uzyskano z obiektu nawożonego wieloskładnikowym nawozem Polimag S oraz nawożonych siarką w formie siarczanu amonu na tle NPK. Najwyższą zawartość siarki stwierdzano w łuszczynach. W obu latach doświadczenia stwierdzono porównywalną zawartość siarki w łuszczynach roślin pochodzących z obiektów nawożonych nawozami wieloskładnikowymi Polimag do koncentracji w łuszczynach gorczycy, pod którą siarkę zastosowano w postaci siarczanu sodu, a niższą niż w łuszczynach gorczycy nawożonej siarczanem amonu. Zawartość siarki w korzeniach gorczycy pochodzącej z obiektów, w których zastosowano siarkę była wyższa niż w korzeniach roślin nawożonych nawozami mineralnymi bez siarki.

S ł o w a k l u c z o w e: siarka, nawożenie, plon, zawartość siarki w gorczycy białej

WSTĘP

Siarka jest pierwiastkiem powszechnie występującym w przyrodzie, niezbędnym składnikiem w procesach fizjologicznych wszystkich żywych organizmów. W roślinach pierwiastek ten występuje w połączeniach mineralnych i organicznych. Mineralną postać stanowią, występujące, przede wszystkim w częściach wegetatywnych, siarczany, będące zapasową formą siarki. Wśród siarkowych związków organicznych dominują aminokwasy – cysteina, metionina i dipeptyd cystyna,

a także glutation, sulfolipidy, biotyna, glukozynolany. Zawartość siarki w roślinach mieści się w zakresie od 0,7 do 14 $g \cdot kg^{-1}$ suchej masy (najczęściej 2-4 $g \cdot kg^{-1}$) i zależy od gatunku (ilościowe zapotrzebowanie na siarkę zwiększa się w kolejności: trawy < rośliny motylkowate < rośliny krzyżowe i liliowate) oraz zasobności środowiska (zasobność gleb w rozpuszczalne siarczany oraz zanieczyszczenie powietrza SO_2) [9]. Zawartość siarki w suchej masie roślin młodych jest większa niż roślin starszych. Organy tej samej rośliny znacznie różnią się między sobą pod względem zawartości siarki (korzenie są uboższe niż części nadziemne) [2].

W rolnictwie polskim, podobnie jak w wielu innych krajach, nawożenie siarką nie jest popularne. Panujący do niedawna pogląd, że gleby Polski są dobrze zaopatrzone w siarkę (ze względu na wieloletnie znaczne zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego tym pierwiastkiem), został podważony wynikami badań uzyskanymi w IUNG-u w Puławach. Siarka wprowadzona do gleb wraz z nawozami naturalnymi i organicznymi, stosowanymi ostatnio w ograniczonej ilości, a także będąca ubocznym składnikiem nawozów mineralnych, nie pokrywa potrzeb pokarmowych, zwłaszcza roślin o dużych wymaganiach w stosunku do tego pierwiastka. Aby poprawić bilans siarki zakłady produkujące nawozy mineralne wprowadzają na rynek w ostatnich latach coraz więcej nawozów wieloskładnikowych zawierających ten ważny makroelement.

Celem badań była ocena plonowania gorczycy białej i zawartości w niej siarki w wyniku zastosowania do gleby tego pierwiastka w formie nawozów wieloskładnikowych i nawozów mineralnych jednoskładnikowych zawierających siarkę jako składnik uboczny.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w 2-letnim (2003 i 2004) doświadczeniu wazonowym, założonym na glebie o zawartości 32% frakcji o średnicy <0,02 mm i odczynie lekko kwaśnym (pH mierzone potencjometrycznie w roztworze KCl o stężeniu 1 $mol \cdot dm^{-3}$ wynosiło 5,75). Zawartość węgla organicznego oznaczona metodą Tiurina wynosiła 11 $g \cdot kg^{-1}$ suchej masy gleby, a azotu ogólnego według procedury Kjeldahla – 1,09 $g \cdot kg^{-1}$ suchej masy. Gleba charakteryzowała się średnią zawartością przyswajalnych dla roślin form fosforu i wysoką potasu, oznaczonych metodą Egnera-Riehma.

Doświadczenie obejmowało 6 obiektów. We wszystkich, z wyjątkiem obiektu kontrolnego (bez nawożenia), w obu latach badań, stosowano jednakowe nawożenie mineralne NPK. Składniki pokarmowe zastosowano w dawkach: N – 1,05 g, P – 0,5 g i K – 1 g na wazon (5,5 kg powietrznie suchej gleby). W obiektach 2, 3 i 4 w formie saletry amonowej, diwodorofosforanu wapnia i chlorku potasu. W obiekcie – 5 w postaci wieloskładnikowego nawozu Polimag 311

NPK Mg S 11-8-16-5-10, a w 6-tym w postaci Polimagu S NPK Mg S 10-8-16-5-14 (w celu wyrównania dawek NPK stosowano sole mineralne). Siarkę w dawce 0,2 g na wazon zastosowano w formie siarczanu sodu, siarczanu amonu oraz dwóch nawozów wieloskładnikowych.

W obu latach badań rośliną testową była gorczyca biała odmiany „Barka", którą zbierano w fazie zawiązywania łuszczyn. Uzyskany plon rozdzielono na 3 frakcje: łuszczyny, łodyga+liście oraz korzenie, a następnie wysuszono w suszarce z przepływem gorącego powietrza w temperaturze 70^{o}C uzyskując plon suchej masy roślin. Wartości dotyczące wielkości plonów poddano ocenie statystycznej według testu Duncana, przy poziomie istotności $p<0,05$. Próbki materiału roślinnego zmielono i przygotowano do analiz chemicznych. Zawartość siarki w poszczególnych częściach roślin oznaczono, po mineralizacji na mokro w stężonym kwasie azotowym(V) (przez 10 godzin), w celu przeprowadzenia siarki organicznej do formy siarczanowej. Po odparowaniu kwasu azotowego(V), próbki materiału roślinnego zadano azotanem(V)magnezu i ponownie odparowano, a następnie umieszczono w piecu muflowym i mineralizowano w temperaturze 300^{o}C przez 2 godziny, a następnie podniesiono temperaturę do 450^{o}C i utrzymywano ją przez 3 godziny. Zawartość siarki w roztworach oznaczono metodą ICP-AES za pomocą aparatu firmy JY 238 Ultrace.

WYNIKI I DYSKUSJA

W pierwszym roku doświadczenia (2003) plony suchej masy, zarówno łuszczyn, jak i łodyg wraz z liśćmi, gorczycy białej nie różniły się istotnie między obiektami nawożonymi (tab. 1). Istotnie niższe były plony roślin z obiektu bez nawożenia. W tym roku nie zaznaczył się wpływ dodatku siarki, ani formy nawozu zawierającego ten pierwiastek, na wielkość plonów części nadziemnych gorczycy. W drugim roku badań (2004) stwierdzono istotnie wyższe plony łuszczyn roślin uprawianych w obiektach z dodatkiem siarki, zastosowanej na tle nawożenia mineralnego, w porównaniu do plonów tej części roślin pochodzących z obiektu z wyłącznym nawożeniem NPK. Najwyższe plony uzyskano po zastosowaniu siarki w postaci siarczanu sodu, a następnie siarczanu amonu i Polimagu NPK Mg S (10-8-16-5-14). Plony łodyg i liści gorczycy uzyskane w wyniku nawożenia Polimagiem NPK Mg S (10-8-16-5-14) były najwyższe i porównywalne z plonami tej frakcji gorczycy uzyskanej po zastosowaniu nawożenia siarką w postaci siarczanu amonu, na tle NPK i istotnie wyższe od plonów uzyskanych w pozostałych obiektach nawożonych. Plony korzeni gorczycy, nie mające praktycznego zastosowania, w pierwszym roku eksperymentu różniły się istotnie między obiektami nawożonymi, w drugim roku nie stwierdzono takiego zróżnicowania. Najwyższe sumaryczne plony gorczycy białej z obu lat badań uzyskano u roślin pochodzących z obiektu nawo-

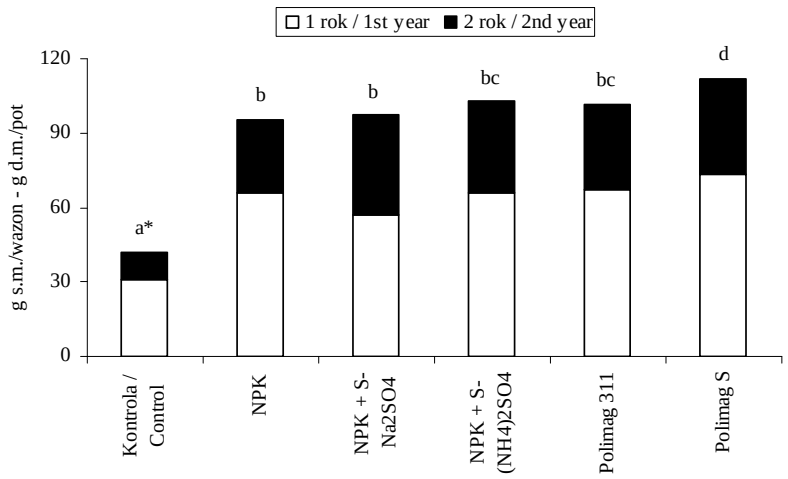
żonego wieloskładnikowym nawozem Polimag S oraz nawożonych siarką w formie siarczanu amonu na tle NPK. Plony gorczycy z pozostałych obiektów nawozowych utrzymywały się na tym samym poziomie (rys. 1).

Tabela. 1. Plony suchej masy gorczycy białej (g/wazon)
Table 1. Yields of white mustard dry mass (g/pot)

Obiekty Treatments	2003 rok – year			2004 rok – year		
	Łuszczyny Siliques	Łodyga + liście Stem + leaves	Korzenie Roots	Łuszczyny Siliques	Łodyga + liście Stem + leaves	Korzenie Roots
Kontrola Control	8,23a*	19,83a	2,86a	3,01a	7,15a	0,87a
NPK	20,08b	40,28b	5,71b	9,25b	17,18b	2,54b
NPK+S – Na_2SO_4	17,11b	35,39b	4,48b	17,98e	19,89b	2,45b
NPK+S – $(NH_4)_2SO_4$	20,46b	38,93b	6,41c	14,42d	20,29c	2,23b
Polimag 311 NPK Mg S 11-8-16-5-10	21,28b	40,44b	5,23bc	12,55c	19,62b	2,21b
Polimag S NPK Mg S 10-8-16-5-14	22,50b	44,81b	6,07bc	14,49d	21,01c	2,66b

* grupy jednorodne według testu Duncana przy $p < 0,05$.
* homogeneous groups according to the Duncan test, $p < 0.05$.

Gorczyca podobnie jak pozostałe rośliny z rodziny krzyżowych wykazuje duże zapotrzebowanie na siarkę [4,5], a produkcyjne efekty nawożenia siarką zależą przede wszystkim od zawartości tego pierwiastka w glebie [12,14]. Zawartość siarki w glebie omawianego doświadczenia mieściła się w zakresie zawartości średniej, stąd zwłaszcza w pierwszym roku badań, nie wykazano istotnego wzrostu plonu roślin pod wpływem zastosowanej dawki siarki. Uzyskane w naszych badaniach wyniki są częściowo zgodne z rezultatami doświadczeń Kulczyckiego [8], który również stwierdzał istotny wzrost plonów gorczycy we wszystkich obiektach nawożonych siarką w drugim roku po jej zastosowaniu. W pierwszym roku efekt tego zabiegu zależał od składu granulometrycznego gleby – im gleba cięższa tym efekt mniejszy. Dobre efekty nawożenia siarką uzyskuje się nie tyko w uprawach roślin krzyżowych, ale także u zbóż. Klikocka [7] wykazała istotny wzrost plonu pszenżyta po zastosowaniu 25 kg $S \cdot ha^{-1}$, a Fotyma [3] pszenicy jarej jako efekt nawożenia 60 kg siarki na hektar.



Rys. 1. Sumaryczne plony suchej masy gorczycy białej (g/wazon)
*grupy jednorodne według testu Duncana przy $p < 0,05$
Fig. 1. Total dry mass yields of white mustard (g/pot)
*homogeneous groups according to the Duncan test, $p < 0.05$

Zawartość siarki w suchej masie poszczególnych części gorczycy, z obu lat badań, przedstawiono w tabeli 2. Najwyższą zawartość stwierdzano w łuszczynach. W roku 2003, w łuszczynach roślin z obiektów, w których zastosowano siarkę na tle nawożenia mineralnego NPK, mieściła się ona w zakresie od 6,45 do 7,42 $g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, natomiast w łuszczynach gorczycy z obiektu NPK wynosiła ona 4,89 $g \cdot kg^{-1}$. Wyższa zawartość w łuszczynach tej rośliny z obiektu bez nawożenia (6,31 g $S \cdot kg^{-1}$ s.m.) wynikała z efektu koncentracji składnika w niskim plonie. Na zjawisko to zwracają uwagę McGraht i in. [10]. Stosowanie azotu powoduje nadmierny wzrost masy wegetatywnej, co przy małym zaopatrzeniu w siarkę wywołuje efekt rozcieńczenia tego składnika, nawet poniżej poziomu krytycznego. W drugim roku eksperymentu (2004) bezwzględna zawartość siarki w łuszczynach gorczycy białej była niższa, przy podobnych relacjach międzyobiektowych. W obu latach doświadczenia stwierdzono porównywalną zawartość siarki w łuszczynach roślin pochodzących z obiektów nawożonych nawozami wieloskładnikowymi Polimag do koncentracji w łuszczynach gorczycy, pod którą siarkę zastosowano w postaci siarczanu sodu, a niższą niż w łuszczynach gorczycy nawożonej siarczanem amonu. W łodygach i liściach gorczycy białej nawożonej siarką zawartość tego makroskładnika była w 2003 roku wyższa o 75-130%, w porównaniu do tych części roślin nawożonych wyłącznie NPK, a w 2004 roku

o 42-118% wyższa. Zastosowanie w pierwszym roku doświadczenia Polimagów działało porównywalnie na zawartość siarki w łodygach i liściach do nawożenia siarczanem sodu, a w drugim roku lepiej. Zawartość siarki w korzeniach gorczycy pochodzącej z obiektów, w których zastosowano siarkę była wyższa niż w korzeniach roślin nawożonych nawozami mineralnymi bez siarki.

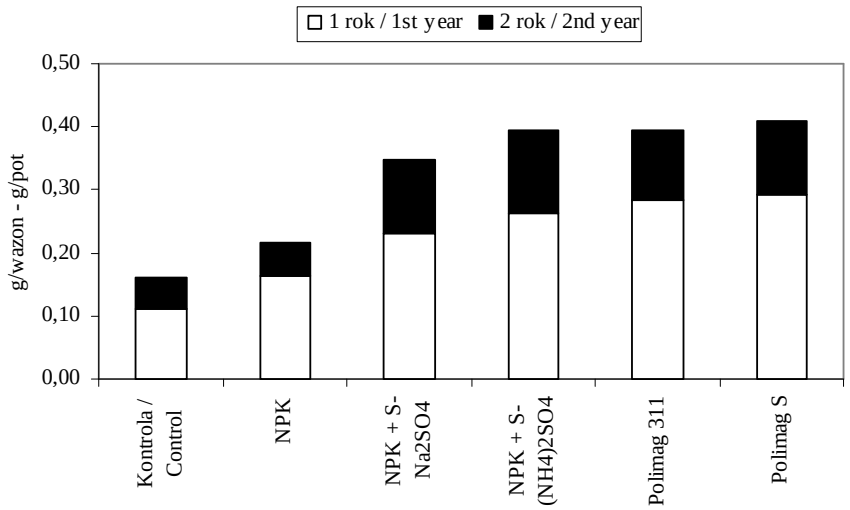
Tabela 2. Całkowita zawartość siarki w suchej masie gorczycy białej ($g \cdot kg^{-1}$)
Table. 2. Total sulphur content in dry mass of white mustard ($g\ kg^{-1}$)

Obiekty Treatments	2003 rok – year			2004 rok – year		
	Łuszczyny Siliques	Łodyga + liście Stem + leaves	Korzenie Roots	Łuszczyny Siliques	Łodyga + liście Stem + leaves	Korzenie Roots
Kontrola Control	6,31	2,60	2,80	4,13	5,14	1,11
NPK	4,89	1,30	2,19	2,94	1,46	0,93
NPK+S – Na_2SO_4	6,78	2,83	3,27	4,00	2,08	1,43
NPK+S – $(NH_4)_2SO_4$	7,42	2,28	3,30	4,50	3,19	1,82
Polimag 311 NPK Mg S 11-8-16-5-10	6,79	2,99	3,50	4,44	2,64	1,34
Polimag S NPK Mg S 10-8-16-5-14	6,45	2,76	3,87	4,16	2,46	1,48
SD*	0,85	0,62	0,59	0,57	1,27	0,31
V%**	13	25	19	14	45	23

* odchylenie standardowe / standard deviation,
** współczynnik zmienności / coefficient of variation.

Stwierdzona w doświadczeniu zawartość siarki w gorczycy białej mieściła się w zakresie podawanym przez wielu autorów jako najczęściej występująca u roślin uprawnych [5,6,12]. Zwiększenie koncentracji siarki w suchej masie plonów w wyniku zastosowania nawożenia tym pierwiastkiem potwierdza wcześniejsze wyniki badań innych autorów [7,8,13]. W doświadczeniu do nawożenia siarką zastosowano nawozy zawierające formę siarczanową tego pierwiastka, która w praktyce najczęściej jest stosowana, zarówno w Polsce, jak i innych krajach Europy i świata [9,11,13]. Zastosowanie natomiast dwóch nawozów wieloskładnikowych produkowanych w ZCh „Police" i zawierających siarkę jest zgodne

z praktyką rolniczą w której nawozy jednoskładnikowe coraz częściej zastępowane są nawozami wieloskładnikowymi [1].



Rys. 2. Ilości siarki pobrane przez gorczycę białą w roku 2003 i 2004
Fig. 2. Sulphur uptake by white mustard in the years 2003 and 2004

W okresie 2 lat badań najwięcej siarki pobrały rośliny w obiektach nawożonych wieloskładnikowymi nawozami Polimag 311 i Polimag S (odpowiednio 0,394 i 0,408 g/wazon) i były to ilości porównywalne do pobranych przez gorczycę nawożoną siarką w formie siarczanu amonu (0,396 g/wazon) – rysunek 2 . Ilość siarki pobrana przez tą roślinę nawożoną siarczanem sodu była mniejsza i wynosiła 0,348 g/wazon. W porównaniu do ilości siarki pobranej przez gorczycę w obiekcie nawożonym wyłącznie solami mineralnymi, ilości siarki w roślinach, pod które zastosowano ten makroskładnik pokarmowy zwiększyła się o 60-88%.

WNIOSKI

1. Nawożenie siarką istotnie różnicowało plony poszczególnych części gorczycy białej dopiero w drugim roku doświadczenia.
2. Najwyższe sumaryczne plony gorczycy białej z obu lat badań uzyskano z obiektu nawożonego wieloskładnikowym nawozem Polimag S oraz nawożonych siarką w formie siarczanu amonu na tle NPK. Plony gorczycy z pozostałych obiektów nawozowych utrzymywały się na tym samym poziomie

3. Nawożenie siarką spowodowało podwyższenie zawartości tego makroskładnika we wszystkich częściach gorczycy białej, w porównaniu do zawartości w roślinach z obiektu bez siarki.

4. Najlepiej na zawartość siarki w gorczycy białej działało nawożenie nawozami wieloskładnikowymi Polimag S i 311 oraz siarczanem sodu.

PIŚMIENNICTWO

1. **Biskupski A., Winiarski A., Malinowski P.:** Stan Produkcji krajowej nawozów zawierających siarkę oraz tendencje światowe ich wykorzystania i stosowania. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, 5, 4(17), 9-30, 2003.
2. **Boreczek B.:** Czy istnieje problem niedoborów siarki w żywieniu roślin? Biul. Inf. IUNG, I/II, 25-28, 2000.
3. **Fotyma E.:** Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization 5, 4(17), 117-136, 2003.
4. **Grzebisz W., Fotyma M.:** Ocena odżywiania siarką rzepaku ozimego uprawianego w północno-zachodniej Polsce. Rośliny Oleiste, 275-298, 1996.
5. **Grzebisz W., Przygocka-Cyna K.:** Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, 5, 4, 17, 64-77, 2003.
6. **Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.:** Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Wyd. IUNG Puławy, P(53), 1993.
7. **Klikocka H.:** Wpływ nawożenia siarką na plon i skład chemiczny ziarna pszenżyta jarego oraz właściwości gleby. Fragm. Agron., XXI, 3(83), 70-79, 2004.
8. **Kulczycki G.:** Wpływ nawożenia siarką elementarną na plon i skład chemiczny roślin oraz właściwości chemiczne gleby. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, 5, 4(17), 151-159, 2003.
9. **Marska E., Wróbel J.:** Znaczenie siarki dla roślin. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 204, Roln. 81, 61-76, 2000.
10. **McGraht S.P., Zhao F.J.:** Sulphur uptake, yield responses and interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). J. Agric. Sci., 126, 1, 53, 1996.
11. **Messick D.L., de Brey C., Fan M.X.:** Sources of sulphur, their processing and use in fertiliser manufacture. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, 5, 2(15), 81-103, 2003.
12. **Toboła P., Jakubus M.:** Ocena wartości nawozowej gipsu oraz siarczanu amonu jako źródła siarki dla rzepaku. Nawozy i Nawożenie, Fertilizers and Fertilization, 5, 4(17), 56-63, 2003.
13. **Uziak Z., Szymańska M.:** Wpływ siarki na skład chemiczny biomasy słonecznika i seradeli. Pam. Puł., 89, 131-141, 1987.
14. **Wielebski F., Muśnicki Cz.:** Wpływ wzrastających dawek siarki i sposobu jej aplikacji na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego w warunkach doświadczeń polowych. Rocz. AR Poznań, 303, ser. Agr. 51, 149-167, 1998.

YIELDING AND SULPHUR CONTENT IN WHITE MUSTARD AS THE EFFECT OF APPLICATION OF MULTI-COMPONENT FERTILIZERS CONTAINING SULPHUR

Barbara Filipek-Mazur, Krzysztof Gondek

Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: rrfilipe@cyf-kr.edu.pl

Abstract. The investigations were aimed at estimating white mustard yielding and its sulphur concentration resulting from supplying sulphur to the soil as multi-component fertilizers and single-component mineral fertilizers containing this element as a by-product. In the first year of the experiment dry matter yields of white mustard, either silique or stems with leaves, did not differ significantly between treatments. No marked effect of sulphur supplement or fertilizer containing this element on the amount of mustard aboveground part yield was observed. In the second year of the studies markedly larger yields of plant silique were noted in treatments with sulphur addition applied against the mineral background. The highest total yields of white mustard in both years of investigations were obtained from plants fertilized with multi-component Polimag S fertilizer and in treatments with sulphur applied as ammonium sulphate against NPK background. The highest sulphur content was found in silique. In both years of the experiment a comparable amount of sulphur was assessed in plant silique from Polimag multi-component treatments to those where sulphur was used under mustard as sodium sulphate, but lower than in silique of mustard fertilized with ammonium sulphate. Sulphur concentrations in mustard roots from the treatments where sulphur was applied were higher than in roots of plants fertilized with mineral fertilizers without sulphur.

Keywords: sulphur, fertilization, yield, sulphur content in white mustard