Przemieszczanie siarki znaczonej izotopem ^{35}S przy dolistnym i dokorzeniowym jej zastosowaniu

Translocation of foliar and root applied ^{35}S labeled sulfur
in rape and bean plants

H. PANAK, R. CZ. SZAFRANEK

WSTĘP

Badania przeprowadzone w ostatnich dwóch dziesięcioleciach w różnych rejonach kuli ziemskiej (Frenay i wsp. 1962; Grzesiuk 1965) wykazały dużą reakcję roślin na nawożenie siarką. W związku z tym zagadnienie absorpcji i translokacji tego pierwiastka w roślinie stało się przedmiotem zainteresowania szeregu dyscyplin nauk biologicznych.

Wcześniejsze badania przeprowadzone nad przemieszczaniem siarki w roślinach sugerują, że pierwiastek ten jest mało ruchliwy w roślinie. Pogląd taki na podstawie przeprowadzonych eksperymentów reprezentował między innymi Rippel (1921), który twierdził, że zmagazynowana siarka w zapasowych tkankach jabłoni nie przemieszcza się do nowych tkanek z chwilą ruszenia vegetacji. Wyniki otrzymane przez Wood'a i Barrien'a (1939) w doświadczeniach z roślinami trawiastymi trzymanymi w ciemności wskazywały również na brak przemieszczania siarczanów z liści do łodyg i korzeni — w przeciwieństwie do aminokwasów, które w tych warunkach były przewodzone. Wood (1942) stwierdził, że siarczany zgromadzone w starszych liściach są stosunkowo mało ruchliwe i tylko w nieznacznym stopniu ulegają przemieszczaniu do innych organów rośliny.

Po wprowadzeniu do badań izotopu ^{35}S pogląd ten uległ radykalnej zmianie. Thomas i wsp. (1944) wykazali, że siarka przemieszcza się w formie siarczanowej z jednego organu rośliny do drugiego, w miarę jak potrzebna jest do jej wzrostu i rozwoju. Ci sami badacze (1950) wykazali przy dolistnym zastosowaniu radioaktywnej siarki stosunkowo

szybkie przewodzenie siarczanów z liści do łodyg i kwiatostanów. Według badań Rogaliewa (1962) największa koncentracja siarki u różnych roślin uprawnych była w liściach, a najmniejsza w owocach i nasionach. Biddulph i wsp. (1956) badali wymianę i przemieszczanie siarki pomiędzy poszczególnymi organami roślin fasoli. Stwierdzili oni, że część siarki w roślinie pozostaje ruchliwa, przemieszczając się z jednego organu rośliny do drugiego. Trójdzielne liście oraz korzenie gromadziły większe ilości siarki niż łodygi i liście pierwotne. Szybkość przemieszczania się siarki we floemie z górnych do dolnych części rośliny przekraczała 40 cm na godzinę, co równa się szybkości przewodzenia fosforu i sacharozy. Bukovac i Wittwer (1957) zaliczają siarkę do grupy pierwiastków o średniej ruchliwości na równi z fosforem, chlorem, cynkiem, manganem, miedzią, żelazem i molibdenem.

Badania wykazały (Koter i Panak 1966; Olsen 1957), że rośliny mogą pobierać siarkę zarówno z gleby, jak i bezpośrednio z powietrza przy pomocy aparatu liściowego.

Celem niniejszych badań było porównanie absorpcji i translokacji siarki przy dolistnym i dokorzeniowym odżywianiu roślin tym składnikiem.

MATERIAŁY I METODY

Do doświadczeń wzięto rzepak ozimy odmiany 'Warszawski' i fasolę szparagową odmiany 'Saxa'. Nasiona wykiełkowano w piasku kwarcowym. Po wzejściu roślin przeniesiono je do litrowych słoików szklanych z przewietrzaną, bezsiarczanową pożywką Hoagland'a i Arnon'a (1950), dwukrotnie rozcieńczoną wodą destylowaną. Doświadczenie przeprowadzono w dwóch seriach. Jedna seria obejmowała rośliny z dolistnym, a druga z dokorzeniowym zastosowaniem siarki znakowanej izotopem ^{35}S . W zabiegu dolistnym zastosowano 0,25 mol roztwór Na_2SO_4 w ilości 0,05 ml na liść o aktywności właściwej 0,4 mC/1 ml. Roztwór odmierzono i naniesiono na jeden z dwóch pierwszych liści przy pomocy pipety mikrometrycznej, pokrywając górną powierzchnię liścia drobnymi kropelkami. W serii dokorzeniowej siarkę wprowadzono do pożywki w ilości 16 mg S/1 o aktywności właściwej 1 $\mu\text{C}/1$ mg S. Roztwory z siarką znakowaną izotopem ^{35}S zastosowano po dziewięciu dniach od chwili przeniesienia roślin do pożywki. Każda seria obejmowała po trzy słoje, w których rosły po cztery rośliny. Absorpcję i przemieszczanie siarki w roślinach badano po 6, 24 i 48 godzinach od chwili dokonania zabiegu.

Po zakończeniu doświadczenia rośliny z serii dokorzeniowej wyjęto z pożywki i korzenie ich starannie przemyto wodą bieżącą. Z każdego

zabiegu przeznaczono po jednej roślinie do badań autoradiograficznych. W tym celu rośliny umieszczono w prasce botanicznej i suszono w 70°C , a następnie przeniesiono do kasety fotograficznej. Do otrzymania autoradiogramów roślin użyto bezekranowej kliszy rentgenowskiej. Pozostałe rośliny wysuszono również w temperaturze 70°C , z tym, że w serii dolistnej przed suszeniem usunięto liść traktowany izotopem. Wysuszone rośliny podzielono na następujące części: a) korzenie, b) łodygi i c) liście. Rozdrobnione części roślin zmineralizowano przy pomocy kwasu azotowego z niewielkim dodatkiem kwasu nadchlorowego. Po odparowaniu kwasów zmierzono aktywność substancji roślinnej przy pomocy okienkowego licznika GM, typ AAH-55.

W celu zbadania stopnia wydzielania siarki z rośliny do pożywki — roztwory z serii dolistnej odparowano. Suchą pozostałość rozpuszczono w niewielkiej ilości wody destylowanej i przeniesiono do naczynek pomiarowych. Pomiaru aktywności dokonano po odparowaniu wody. Dla wyeliminowania radioaktywności pochodzącej z roztworu odżywczego odparowano taką samą ilość pożywki nie zawierającej izotopu ^{35}S i zmierzono jej radioaktywność.

Aktywność wszystkich preparatów liczono tak długo aż osiągnięto minimum 1000 impulsów. Wyniki po odjęciu tła wyrażono w impulsach na minutę na gram suchej masy.

WYNIKI I DYSKUSJA

Otrzymany obraz autograficzny roślin rzepaku odżywianych znakowaną siarką dokorzeniowo przedstawia autoradiogram A, a dolistnie — autoradiogram B. Rośliny fasoli obydwu serii doświadczenia reprezentowane są odpowiednio przez autoradiogramy C i D.

Jakkolwiek autoradiogramy A i B nie mogą być ze sobą bezpośrednio porównywane, ponieważ autoradiogram A przedstawia roślinę po 48 godzinach od chwili dodania ^{35}S , a autoradiogram B po 24 godzinach, to jednak wykazują one zasadnicze różnice w systemie przewodzenia siarki w roślinie w zależności od sposobu jej podania. Przy dokorzeniowym zastosowaniu siarka pobrana przez korzenie została doprowadzona do wszystkich organów rośliny niemal równomiernie. W młodych liściach można jednak zaobserwować większą koncentrację tego składnika niż w starszych liściach. Charakterystyczne jest, że siarka w obrębie samego liścia została zlokalizowana w największych ilościach w brzożnych jego częściach, co wskazuje na jej szczególne znaczenie w procesach rozwojowych komórek liścia.

Przy dolistnym zastosowaniu (autoradiogram B) siarka przemieściła się w ciągu 24 godzin do łodygi, korzeni i młodszych liści, podczas gdy

w starszych liściach zaledwie zaznaczona została jej obecność w naczyniach przewodzących. Otrzymany obraz przewodzenia siarki w tej serii doświadczenia jeszcze bardziej niż przy dokorzeniowym zastosowaniu podkreśla funkcję siarki jako czynnika biorącego udział w podziale komórek roślinnych. Podobne wyniki otrzymali i inni eksperymetatorzy (Barrier i Loomis 1957; Loomis 1935), zdaniem których dystrybucja siarki w roślinie wydawała się być proporcjonalna do metabolicznej aktywności różnych tkanek.

Tabela 1 — Table 1

Translokacja siarki znakowanej izotopem ^{35}S w roślinach rzepaku ozimego
w zależności od sposobu zastosowania
Translocation of ^{35}S -labeled sulfur by the rape plants

Organ rośliny Plant parts	³⁵ S zastosowana					
	dokorzeniowo root applied			dolistnie foliar applied		
	godzin — hours					
	6	24	48	6	24	48
	impulsów/min./g suchej masy — counts/min./g dry weight					
Korzenie — Roots	7 795	11 708	15 062	14 675	40 900	63 360
Łodygi — Stems	1 925	4 015	10 515	18 705	37 390	53 125
Liście — Leaves	6 253	13 650	33 607	9 870	38 560	60 005

Autoradiogramy roślin fasoli wykazały identyczne rozmieszczenie siarki, jak autoradiogramy roślin rzepaku przy obydwu sposobach zastosowania siarki znaczonej izotopem ^{35}S . Fasola odznacza się jednak mniejszymi wymaganiami w stosunku do siarki niż rzepak, co zapewne wpłynęło na mniej wyraźną akumulację tego pierwiastka w samym liściu.

Tablica I — Plate I

Autoradiogramy ilustrujące translokację ^{35}S w roślinach rzepaku (A i B) i fasoli (C i D)

- A — ^{35}S zastosowana dokorzeniowo. Czas ekspozycji 48 godzin
- B — ^{35}S zastosowana dolistnie. Czas ekspozycji 24 godziny
- C — ^{35}S zastosowana dokorzeniowo. Czas ekspozycji 48 godzin
- D — ^{35}S zastosowana dolistnie. Czas ekspozycji 24 godziny

Autoradiograms showing translocation of ^{35}S in rape (A, B) and bean (C, D) plants

- A — Root applied ^{35}S . The time of treatment 48 hours
- B — Foliar applied ^{35}S . The time of treatment 24 hours
- C — Root applied ^{35}S . The time of treatment 48 hours
- D — Foliar applied ^{35}S . The time of treatment 24 hours

Intensywność absorpcji siarki przez rośliny rzepaku oraz jej przemieszczenie do poszczególnych organów rośliny w zależności od czasu odżywiania tym składnikiem w obydwu seriach doświadczenia obrazują liczby zamieszczone w tabeli 1. Otrzymane wyniki analizy radiometrycznej jeszcze bardziej niż autoradiogramy podkreślają różnice pomiędzy dokorzeniowym i dolistnym systemem odżywiania roślin tym składnikiem. Rośliny w serii dokorzeniowej po 6 godzinach zlokalizowały w korzeniach ponad czterokrotnie więcej siarki niż w łodygach i trochę więcej niż w liściach, podczas gdy przy dolistnym odżywianiu koncentracja siarki w analogicznym okresie czasu była największa w łodygach, mniejsza w korzeniach, a najmniejsza w liściach. Sugeruje to dwukierunkowe przewodzenie siarki z liści do korzeni i z korzeni do liści. Tą dwukierunkowością przewodzenia można by wyjaśnić zjawisko większej koncentracji tego pierwiastka w łodygach roślin odżywianych dolistnie w porównaniu do serii roślin, którym siarkę podano do strefy korzeniowej. Za taką interpretacją przemawiają również wyniki otrzymane w obydwu seriach doświadczenia po 24- i 48-godzinnej ekspozycji.

Tabela 2 — Table 2

Translokacja siarki znakowanej izotopem ^{35}S w roślinach fasoli w zależności od sposobu zastosowania

Translocation of ^{35}S -labeled sulfur by the bean plants

Organ rośliny Plant parts	³⁵ S zastosowana					
	dokorzeniowo root applied			dolistnie foliar applied		
	godzin — hours					
	6	24	48	6	24	48
	impulsów/min./g suchej masy — counts/min./g. dry weight					
Korzenie — Roots	5 140	9 518	10 832	6 586	16 448	29 880
Łodygi — Stems	713	2 986	6 620	5 820	21 756	26 874
Liście — Leaves	1 623	5 913	10 227	6 007	27 303	42 926

W obydwu analizowanych okresach czasu przy dokorzeniowym systemie odżywiania roślin akumulacja siarki wzrosła najszybciej w liściach, a następnie w łodygach, a najmniejsze tempo ilościowego nagromadzenia tego pierwiastka było w korzeniach. Nie wpłynęło to jednak na fakt, że absolutna ilość zlokalizowanej siarki w łodygach była najmniejsza. Liście zasorbowwały po 48 godzinach prawie 3,5-krotnie więcej siarki niż łodygi oraz ponad 2-krotnie więcej niż korzenie. W przeciwieństwie do tego, w serii dolistnej wzrost koncentracji siarki był niemal równomierny we wszystkich wyodrębnionych organach roślinnych.

Zarejestrowana po 6 godzinach od chwili naniesienia na liść izotopu ^{35}S bardzo wysoka koncentracja siarki w łodygach została utrzymana również i w dłuższych ekspozycjach czasu. Niemniej po 48-godzinnej ekspozycji największe ilości siarki znaleziono w liściach i korzeniach, a najmniej w łodygach.

Ryc. 1. Krzywe absorpcji i translokacji ilustrujące względne procentowe przemieszczenie ^{35}S w poszczególnych organach roślin w 6, 24 i 48 godzin po zastosowaniu izotopu

A — Fasola, siarka zastosowana dokorzeniowo; B — Fasola, siarka zastosowana dolistnie;
 C — Rzepak, siarka zastosowana dokorzeniowo; D — Rzepak, siarka zastosowana dolistnie

Absorption and translocation curves showing relative percentages of ^{35}S translocation in plant organs 6, 24 and 48 hours after applying the isotope

A — Bean. Root applied ^{35}S ; B — Bean. Foliar applied ^{35}S ; C — Rape. Root applied ^{35}S ; D — Rape. Foliar applied ^{35}S

Jakkolwiek fasola przedstawia odrębny gatunkowo organizm roślinny, to procesy absorpcji i translokacji siarki przebiegały u niej w podstawowych zarysach podobnie jak i u rzepaku. Wyniki analiz radiometrycznych zestawione w tabeli 2 wskazują również na dużą dysproporcję w koncentracji siarki pomiędzy łodygami a pozostałymi organami fasoli w obydwu seriach doświadczenia i we wszystkich analizowanych okresach. Ta zgodność wyników otrzymanych dla obydwu badanych roślin wskazuje na odrębne procesy, jakie zachodzą przy dolistnym i dokorzeniowym odżywianiu roślin składnikami mineralnymi.

Krzywe ilustrujące procentowy udział siarki pobranej przez poszczególne organy roślin w zależności od czasu odżywiania i sposobu jej po-

dania wskazują na wyraźne różnice, jakie wystąpiły w procesie absorpcji i przemieszczania tego pierwiastka zarówno przez rzepak, jak i fasolę. Przy dokorzeniowym odżywianiu obydwu gatunków roślin (Ryc. 1A i C) procentowy udział siarki w korzeniach szybko maleje w miarę upływu czasu od chwili podania izotopu ^{35}S . Natomiast wzrasta jej udział w liściach i w mniejszym stopniu w łodygach. W serii dolistnej (Ryc. 1B i D) obserwuje się wprawdzie stały wzrost udziału siarki w liściach obydwu roślin, ale nie tak intensywny jak w serii dokorzeniowej. Wzrost ten w liściach fasoli nastąpił kosztem zmniejszania udziału tego pierwiastka w korzeniach, a u rzepaku — w łodygach.

Ryc. 2. Krzywe ilustrujące wydzielanie izotopu ^{35}S do pożywki przez korzenie roślin fasoli i rzepaku przy dolistnym zastosowaniu siarki

The curves showing the counts/min. of applied ^{35}S which moved into the nutrient solution from the roots of bean and rape plants (foliar application)

Przy dolistnym systemie odżywiania siarką należy podkreślić jeszcze raz większy udział tego składnika w łodygach we wszystkich badanych okresach czasu w porównaniu z dokorzeniowym systemem odżywiania siarką. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że udział ten utrzymuje się we wszystkich organach roślin mniej więcej na stałym poziomie, podczas gdy w serii dokorzeniowej wystąpiły duże zmiany w intensywności gromadzenia tego pierwiastka przez korzenie, łodygi i liście w miarę upływu czasu od chwili jego zastosowania.

Badania przeprowadzone nad zdolnością wydzielania siarki przez korzenie roślin do pożywki (Ryc. 2) wykazały, że zarówno fasola, jak i rzepak zdolne są do wydzielania tego składnika do środowiska odżywczego strefy korzeniowej. Intensywność tego wydzielania we wszystkich analizowanych okresach czasu była większa u fasoli niż u rzepaku.

Rząd wielkości wydzielania siarki w stosunku do pobranej po 48 godzinach od chwili jej podania był niewielki i wynosił dla fasoli 0,01%, a dla rzepaku 0,005%. Jakkolwiek zjawisko to nie mogło odegrać większej roli w procesach absorpcji i przemieszczania siarki w roślinie, to jednak wyjaśnienie jego mechanizmu może być interesujące z punktu widzenia fizjologii odżywiania roślin.

WNIOSKI

1. Przy dolistnym zastosowaniu — siarka przemieściła się do łodyg, korzeni i młodych liści rzepaku i fasoli, podczas gdy w starszych liściach zaledwie zaznaczona została jej obecność w naczyniach przewodzących. W miarę jak czas ekspozycji rósł od 6 do 48 godzin, koncentracja siarki wzrastała we wszystkich częściach roślin.

2. Przy dokorzeniowym zastosowaniu — siarka rozproszona została do wszystkich organów rośliny. Jednak większą koncentrację siarki obserwowano w młodszych niż starszych liściach. W obrębie samego liścia największą koncentrację siarki zanotowano w jego wierzchołkowych i brzeżnych częściach.

3. W serii dolistnej siarka przemieściła się mniej więcej równomierne do liści, łodyg i korzeni, podczas gdy w serii dokorzeniowej najwięcej tego składnika zgromadziło się w liściach, a najmniej w łodygach.

4. Rośliny rzepaku pobrały po 48 godzinach więcej siarki niż rośliny fasoli. W tym samym czasie — przy dokorzeniowym zastosowaniu — trzykrotnie więcej siarki przemieściło się do liści rzepaku niż do liści fasoli.

5. Wydzielanie siarki przez korzenie do pożywki było małe i wynosiło dla fasoli 0,01%, a dla rzepaku 0,005% zaabsorbowanej przez rośliny siarki.

Katedra Chemii Rolnej

Wyższej Szkoły Rolniczej w Olsztynie

Kierownik: prof. dr M. Koter

SUMMARY

Water-culture experiments were conducted to study the absorption and translocation of foliar and root applied ^{35}S -labeled sulfur by rape and bean plants.

Foliar applied sulfur was translocated to stems, roots and young developing leaves, while the older leaves showed merely its presence in conducting tissues. As the time of treatment increased from 6 to 48 hours the concentration of sulfur also increased in all the plant parts examined. Root applied sulfur was translocated to all the plant organs. However, a higher sulfur concentration was found in young leaves than in older ones. Within the leaf itself most sulfur was

concentrated in its top and marginal parts. Root applied sulfur was translocated more or less uniformly both to the leaves, stems and roots, while the foliar applied sulfur was concentrated most in leaves and least in stems; the roots accumulated intermediate amounts of sulfur.

Sulfur distribution in rape plants followed the pattern observed in bean plants. However, the rape plants absorbed after 48 hours more sulfur than the bean plants did regardless of the method of application the element. Three times as much sulfur was translocated to the rape leaves than to the bean leaves when the element was root applied.

The loss of sulfur by roots to the culture medium was small and it amounted to 0.01% for bean and 0.005% for rape of the total sulfur absorbed by the plants.

*Department of Agricultural Chemistry
College of Agriculture, Olsztyn
Head: Prof. dr. M. Koter*

LITERATURA

- Barrier G. E., Loomis W. E., 1957, Absorption and translocation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid and P^{32} by leaves, *Plant Physiol.* 32:225—231.
- Biddulph O., Cory R., Biddulph S., 1956, The absorption and translocation of sulfur by Red Kidney bean, *Plant Physiol.* 31:28—33.
- Bukovac M. J., Wittwer S. H., 1957, Absorption and mobility of foliar applied nutrients, *Plant Physiol.* 32:428—435.
- Frenay 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* 17:295—308.
- Grzesiuk W., 1965, Badania nad wpływem nawożenia siarką na plony i skład chemiczny rzepaku jarego, *Zesz. Nauk. WSR w Olsztynie* 20:343—355.
- Hoagland D. R., Arnon D. I., 1950, The water-culture method for growing plants without soil, *Califor. Agric. Expt. Sta., Circular* 347, January.
- Koter M., Panak H., 1966, Badania nad pobieraniem dwutlenku siarki z atmosfery i opadów przez rośliny uprawne przy zastosowaniu izotopu ^{35}S , *RNR* 90-A:499—509.
- Loomis W. E., 1935, Translocation and growth balance in woody plants, *Annals Bot.* 49:247—272.
- Olsen R. A., 1957, Absorption of sulfur dioxide from the atmosphere by cotton plants, *Soil Sci.* 84:107—111.
- Rippel A., 1921, Untersuchungen über die Mobilisation der Aschenbestandteile und des Stickstoff in Zweigen beim frühjährlichen Austreiben, *Biochem. Zeist.* 113:125—144.
- Rogaliew I. E., 1962, O gradiencie koncentracji chlora i siery ^{35}S w roślinach po fazam ich rozwoju, *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 143:467—470.
- Thomas M. D., Hendricks R. H., Bryner L. C., Hill G. R., 1944, A study of the sulphur metabolism of wheat, barley and corn using radioactive sulphur, *Plant Physiol.* 19:227—244.
- Thomas M. D., Hendricks R. H., Hill G. R., 1950, Sulfur metabolism in alfalfa, *Soil Sci.* 70:19—26.
- Wood J. G., Barrien B. S., 1939, Studies on the sulphur metabolism of plants. III. On changes in amounts of protein sulphur and sulphate sulphur during starvation, *New Phytologist* 38:265—272.
- Wood J. G., 1942, Metabolism of sulfur in plants, *Chronica Botanica* 7:1—4.