ACTA AGROBOTANICA
VOL. XI — 1962

Rola sodu w żywieniu seradeli

The role of sodium in nutrition of serradilla

Z. KOTER i M. WARCHOŁOWA

WSTĘP

Rola sodu jako składnika odżywczego roślin nie jest jeszcze dotychczas całkowicie wyjaśniona. Pierwsze prace dotyczące tego zagadnienia sięgają połowy ubiegłego wieku, gdy Hannam w 1844 roku stwierdził wzrost plonu niektórych roślin uprawnych pod wpływem stosowania chlorku sodowego. Od tego czasu przeprowadzono wiele badań nad wpływem tego składnika na plon i nad jego rolą w metabolizmie roślin. Sód, jako pierwiastek pod względem swoich właściwości najbardziej zbliżony do potasu, rozpatrywany jest zwykle jako składnik zastępujący potas w jego niektórych funkcjach. Prowadzone są również badania nad zagadnieniem, czy spełnia on w roślinach jakieś funkcje samodzielne, niezależne od potasu. Rozwiązanie tego problemu nasuwa wiele trudności przede wszystkim dlatego, że różne rośliny uprawne reagują w odmienny sposób na nawożenie sodem. Ponadto nie znaleziono dotychczas trwałych połączeń organicznych, w skład których wchodziłby sód.

Larson W. E. i Pierre W. H. (1953), Truog E. i in. (1953), Lehr J. J. i Bussink A. T. (1955) podają, że niektóre rośliny korzeniowe, jak buraki, rzepa, seler, pobierają duże ilości sodu i reagują na nawożenie tym składnikiem zwyżką plonu nawet przy optymalnym poziomie potasu w środowisku. Wskazywałoby to, że sód spełnia w nich jakieś funkcje niezależne od potasu. Korczewski M. i Majewski F. (1934), Mullison W. R. i Mullison E. (1942), Truog i in. (1953), Larson i Pierre (1953) w badaniach przeprowadzonych na szeregu roślin uprawnych, jak lucerna, owies, jęczmień, bawełna, wykazali, że reagują one na nawożenie sodem tylko w warunkach niedoboru potasu. U tych gatunków rola sodu ograniczałaby się zatem do funkcji zastępczych w stosunku do potasu. Natomiast Cope J. T. i in. (1953), Harmer P. M. i Benne E. J. (1945) Truog E. i in. (1953) stwier-

dzili, że niektóre rośliny, jak kukurydza, słonecznik, cebula, pobierają minimalne ilości sodu i nie reagują zwyżką plonu na nawożenie tym składnikiem niezależnie od poziomu potasu w środowisku. U tych roślin sód prawdopodobnie nie odgrywa roli jako składnik odżywczy. Inny pogląd reprezentuje Lehr (1949, 1951, 1953, 1955), twierdzi on bowiem, że sód nie tylko dla roślin korzeniowych, ale dla większości roślin uprawnych jest składnikiem niezbędnym i jego obecność w podłożu jest konieczna dla uzyskania maksymalnego plonu.

Na temat funkcji fizjologicznych, jakie może spełniać sód w organizmach roślinnych istnieją różne poglądy. Niektórzy badacze, jak Harmer i Benne (1945), Hoagland D. R. (1948), przypuszczają, że sód jako kation jednowartościowy występuje w układach buforowych soku komórkowego oraz, obok innych kationów, wpływa na stan uwodnienia koloidów plazmy. Truog i in. (1953) i Schmidt L. (1957) sugerują, że może on częściowo zastąpić potas w metabolizmie węglowodanów w roślinie. Lancaster J. D. i in. (1953), Appling E. D. i Giddens J. (1954) twierdzą, że obecność sodu umożliwia lepsze wykorzystanie małych ilości potasu w jego specyficznych funkcjach, w których nie może on być zastąpiony przez żaden inny pierwiastek. Harmer i Benne (1945) podają, że sód zwiększa transpirację, jak również powoduje wzrost intensywności zabarwienia liści, szczególnie u roślin dodatnio reagujących na nawożenie tym składnikiem.

Przeprowadzone przez nas doświadczenia miały na celu wyjaśnienie następujących zagadnień: a) jak wpływa sód na plon seradeli w warunkach niedoboru potasu, a jak przy optymalnym zaopatrzeniu w potas? b) czy na podstawie wyników naszych badań można by wnioskować o funkcjach fizjologicznych sodu w roślinach?

Jako obiekt doświadczalny wybrano seradelę (*Ornithopus sativus*), ponieważ pochodzi ona z terenów nadmorskich (okolice Morza Śródziemnego), co nasuwa przypuszczenie, że może wykazywać dodatnią reakcję na nawożenie sodem. W dostępnej literaturze nie spotkano się z pracami dotyczącymi tego zagadnienia.

METODYKA BADAŃ

Doświadczenia przeprowadzono w latach 1958—1960 w hali wegetacyjnej, w wazonach o pojemności 8 kg piasku. Piasek do doświadczeń płukano wielokrotnie w wodzie wodociągowej, a pod koniec w destylowanej. Do każdego wazonu stosowano tę samą pożywkę podstawową o następującym składzie: $(NH_4)_2HPO_4$ — 0,93 g, $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ — — 0,337 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 1,0 g, $CaCO_3$ — 2 g, $FeCl_3$ — 20 mg,

H_3BO_3 — 10 mg, $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ — 5 mg, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ — 0,2 mg, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0,2 mg, $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ — 0,5 mg. Sód i potas podawano w postaci siarczanów w różnych ilościach w zależności od kombinacji nawozowej, a mianowicie: jako podstawową dawkę potasu przyjęto (na podstawie wieloletnich obserwacji wzrostu roślin motylkowych w innych doświadczeniach wazonowych) 500 mg K_2O na 1 wazon. Dawka ta w tekście oznaczona została jako K-1. Odpowiednio K-$^1/_2$ oznacza połowę tej dawki, tzn. 250 mg K_2O, K-$^1/_4$ odpowiada 125 mg K_2O, a K-2 — 1000 mg K_2O na wazon. Równoważna dawka sodu (obliczona na podstawie ciężarów cząsteczkowych, odpowiadająca 500 mg K_2O) wynosiła 330 mg Na_2O na wazon i oznaczona została jako Na-1. Odpowiednio Na-$^1/_2$ oznacza 165 mg Na_2O, Na-$^1/_4$ — 82,5 mg Na_2O, a Na-2 — 660 mg Na_2O/wazon.

Nasiona seradeli wysiewano do rozsadnika z płukanym piaskiem. Siewki pikowano po 15 szt. do jednego wazonu, zakażając równocześnie wszystkie rośliny aktywnym szczepem *Rhizobium lupini*. Każda seria doświadczenia składała się z 5 powtórzeń. Wazony podlewano wodą destylowaną, przez pierwsze cztery tygodnie do 40% całkowitej pojemności wodnej piasku, a przez następny okres do 60%. Odczyn środowiska utrzymywał się na poziomie 6,7 — 6,8 pH. Okres trwania doświadczeń wynosił około 8 tygodni (w 1958 r. 27.V — 23.VII, w 1959 r. 28.V — 18.VII, w 1960 r. 25.V — 15.VII). Najwięcej kombinacji nawozowych z sodem i potasem wprowadzono w doświadczeniu w 1958 roku i na podstawie otrzymanych wyników w następnych latach plan badań stopniowo zmniejszano. Doświadczenia kończono w okresie kwitnienia roślin. Części nadziemne roślin ścinano, korzenie wyjmowano z piasku i płukano. Po wysuszeniu oznaczano plon powietrznie suchej masy części nadziemnych i korzeni z każdego wazonu i analizowano otrzymany materiał na zawartość K_2O, Na_2O, CaO i ogólnego N.

Oznaczanie potasu, sodu i wapnia przeprowadzono według metody podanej przez Humphriesa E. C. (1956), a mianowicie: 1 g dokładnie zmielonego materiału roślinnego spopielano w temperaturze około 480° C. Po ostudzeniu zalewano 20 ml 10% HCl, stawiano na kilka minut na łaźni piaskowej, przesączano do kolby na 200 ml, przemywano kilkakrotnie gorącą wodą redestylowaną i po ostudzeniu dopełniano do kreski, tak że końcowy roztwór zawierał 1%-owy HCl. Następnie porównywano przy użyciu kolorymetru płomieniowego z roztworami standartowymi dla potasu sodu i wapnia, sporządzonymi również w 1%-owym HCl.

Oznaczanie azotu ogólnego przeprowadzono metodą Kjeldahla. Ponadto w czasie wegetacji roślin oznaczano intensywność oddychania metodą bezpośrednią Warburga.

PRZEBIEG DOŚWIADCZEŃ I WYNIKI

Plony seradeli przy zastosowaniu wzrastających dawek sodu (bez potasu) w porównaniu z plonami otrzymanymi przy wzrastających równoważnych dawkach potasu podaje tabela 1.

TABELA 1 — TABLE 1

Plony seradeli żywionej sodem lub potasem stosowanymi oddzielnie w różnych dawkach
Yields of serradilla as affected by sodium and potassium applied separately at different levels

Serie Series	Pow. sucha masa g/waz. Air dry matter g/pot								
	1958			1959			1960		
	część nadz. tops	korzenie roots	razem total	część nadz. tops	korzenie roots	razem total	część nadz. tops	korzenie roots	razem total
K-0, Na-0	7,52	1,48	9,00	4,26	1,58	5,84	8,10	1,14	9,24
K-1/4	15,04	2,74	17,78	—	—	—	—	—	—
K-1/2	16,88	3,52	20,40	10,24	2,58	12,82	—	—	—
K-3/4	17,06	3,58	20,64	—	—	—	—	—	—
K-1	18,12	3,56	21,68	11,90	2,88	14,78	20,50	3,36	23,86
K-2	17,18	3,38	20,56	10,30	2,76	13,06	—	—	—
Na-1/4	11,20	2,52	13,72	—	—	—	—	—	—
Na-1/2	11,72	2,58	14,30	6,74	2,24	8,98	—	—	—
Na-3/4	12,34	2,66	15,00	—	—	—	—	—	—
Na-1	13,82	2,50	16,32	8,26	2,28	10,54	13,64	1,74	15,38
Na-2	13,88	2,40	16,28	5,80	2,24	8,04	—	—	—
Przedz. ufn. L.S.D. 0,05	0,93	0,40	1,03	0,92	0,42	1,18	3,60	0,52	1,78

Wzrastające dawki potasu powodowały stopniowy wzrost plonu seradeli. Plon roślin otrzymany przy zastosowaniu 500 mg K_2O/waz. zwiększał się (w różnych latach) o 141—158% w porównaniu z kontrolą. Dawka 500 mg K_2O (K-1) okazała się w naszych doświadczeniach optymalna; jej podwojenie (K-2) nie dawało już dalszej zwyżki plonów, a nawet w roku 1959 plon uległ obniżeniu. Wzrastające dawki sodu powodowały również wzrost plonu, lecz był on przy zastosowaniu dawki Na-1, tylko o 66—81% wyższy od plonu kontroli. Jednakże nawet maksymalny plon uzyskany przy żywieniu roślin samym sodem (seria Na-1) był

niższy od plonu otrzymanego przy zastosowaniu najmniejszej dawki potasu (seria K-$^1/_4$).

Należy tutaj podkreślić, że przy zastosowaniu zarówno wzrastających dawek potasu, jak i sodu przyrosty plonów nie były proporcjonalne do wysokości dawek. Najniższa zastosowana dawka sodu (Na-$^1/_4$) spowodowała zwiększenie plonu seradeli o około 50% w porównaniu z kontrolą, lecz plon ten był tylko o 15% niższy niż przy dawce Na-1. Analogicznie przy zastosowaniu najniższej dawki potasu (K-$^1/_4$) otrzymano zwiększenie plonu o około 100% w porównaniu z kontrolą. Dawka ta w naszych doświadczeniach okazała się już stosunkowo wysoka, ponieważ plon ten był tylko o około 20% niższy niż przy dawce optymalnej (K-1).

Objawy braku potasu w seriach kontrolnych (bez sodu i bez potasu) pojawiały się po upływie około 4 tygodni od zapikowania roślin. Charakteryzowały się one żółknięciem i brunatnieniem listków, a następnie masowym ich opadaniem, głównie ze starszych części roślin. Kwitnienie było opóźnione, przy czym zakwitły tylko nieliczne rośliny. Natomiast u roślin żywionych sodem (bez potasu) pierwsze objawy braku potasu zaobserwowano znacznie później, bo dopiero po upływie około 6 tygodni od zapikowania roślin. Charakteryzowały się one żółknięciem, brunatnieniem i opadaniem tylko nielicznych listków.

Działanie zastępcze sodu w stosunku do potasu badano przez stopniowe zmniejszanie dawek potasu i zastępowanie ich ekwiwalentnymi dawkami sodu. Plony roślin tego doświadczenia podaje tabela 2.

TABELA 2 — TABLE 2

Plony seradeli przy częściowym zastępowaniu potasu przez sód
Yields of serradilla as influenced by substitution of sodium for potassium

Serie Series	Pow. sucha masa g/waz. Air dry matter g/pot								
	1958			1959			1960		
	część nadz. tops	korzenie roots	razem total	część nadz. tops	korzenie roots	razem total	część nadz. tops	korzenie roots	razem total
K-1 Na-0	18,12	3,56	21,68	11,90	2,88	14,78	20,50	3,36	23,86
K-$^3/_4$ + Na-$^1/_4$	17,96	3,96	21,92	—	—	—	—	—	—
K-½ + Na-½	18,34	3,64	21,98	11,90	2,82	14,72	21,14	3,70	24,84
K-$^1/_4$ + Na-$^3/_4$	17,24	2,90	20,14	—	—	—	—	—	—
K-0 Na-1	13,82	2,50	16,32	8,26	2,28	10,54	13,64	1,74	15,38
Przedz. ufn. L.S. D. 0,05	0,93	0,40	1,03	0,92	0,42	1,18	3,60	0,52	1,78

Jak wynika z zestawienia plonów, podanego w tabeli 2, sód może zastąpić potas nawet do połowy wysokości dawki, ponieważ z serii K-1/2 + Na1/2 i K-3/4 + Na-1/4 uzyskano plony tej samej wysokości co w serii K-1. Natomiast dodatek sodu do 1/4 dawki potasu powodował wprawdzie zwyżkę plonu, lecz nie do wysokości uzyskiwanej przy pełnej dawce K_2O. Jednakże dawki K-1/2 i K-3/4 były już tak wysokie, że uzupełnienie ich zarówno sodem, jak i potasem do wartości odpowiadającej K-1 dawało tę samą niewielką zwyżkę plonu. Wynikałoby z tego, że działanie sodu było tutaj identyczne z działaniem potasu.

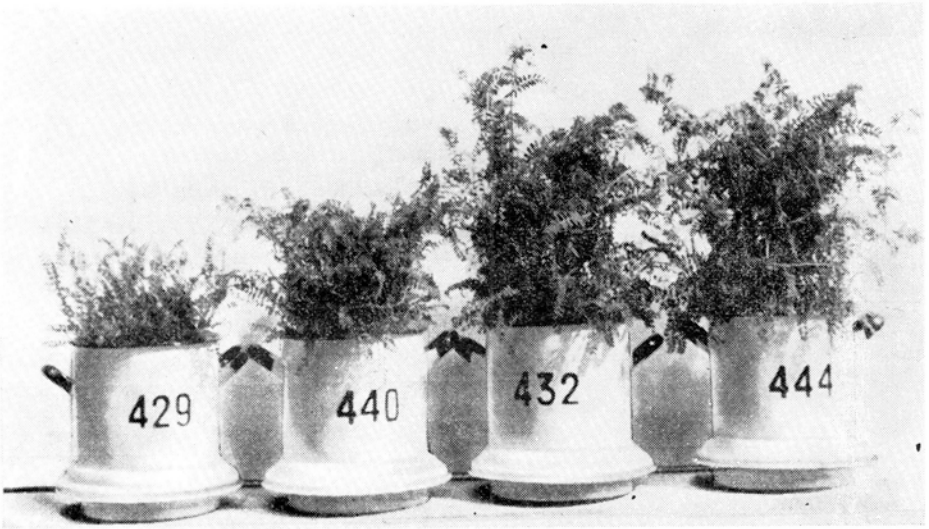
Celem zbadania, czy sód może wpływać niezależnie od potasu na plon seradeli zastosowano, oprócz optymalnej dawki potasu, dwie dodatkowe dawki sodu. W obydwu przypadkach dodatek sodu powodował obniżenie plonu seradeli w porównaniu z serią żywioną samym potasem (tabela 3).

TABELA 3 — TABLE 3

Reakcja seradeli na sód przy optymalnej dawce potasu
Response of serradilla to sodium at the optimal level of potassium

Serie Series	Pow. sucha masa g/waz. Air dry matter g/pot					
	1958			1959		
	część nadz. tops	korzenie roots	razem total	część nadz. tops	korzenie roots	razem total
K-1 Na-0	18,12	3,56	21,68	11,90	2,88	14,78
K-1 + Na-½	16,18	3,10	19,28	10,36	2,68	13,04
K-1 + Na-1	14,38	2,26	16,64	9,18	3,08	12,26
Przedz. ufn. L.S.D. 0,05	0,93	0,40	1,03	0,92	0,42	1,18

Jak wynika z zestawień podanych w tabelach 1—3 plony seradeli w doświadczeniu przeprowadzonym w 1959 roku były niższe w porównaniu z plonami uzyskanymi w pozostałych latach. Przypuszczalnie złożyły się na to następujące przyczyny: w roku 1959 siewki seradeli były częściowo porażone przez zgorzel szyjki korzeniowej, przepikowano więc zamiast 15 tylko po 10 szt. zdrowych roślin do każdego wazonu. Ponadto warunki atmosferyczne okresu wegetacyjnego omawianego roku były raczej nie sprzyjające dla wzrostu seradeli (wysoka temperatura, mała ilość opadów i niska wilgotność powietrza). Natomiast w latach 1958 i 1960 warunki atmosferyczne okresu wegetacyjnego były sprzyjające dla wzrostu seradeli; nie zaobserwowano również występowania żadnych objawów chorobowych na roślinach (średnie temperatury miesięczne



K — 0 Na — 0 | K — 0 Na — 1 | K — 1 Na — 0 | K — ½ Na — ½

Ryc. 1. Wpływ potasu i sodu na wzrost seradeli
The influence of potassium and sodium on the growth of serradilla

okresu wegetacyjnego 1958 r.: czerwiec — 16,0° C, lipiec — 18,9° C; 1959 r.: czerwiec — 16,8° C, lipiec — 21,3° C; 1960 r.: czerwiec — 17,4° C, lipiec — 17,4° C, dane z Pracowni Meteorologii IUNG w Puławach).

Różnice pomiędzy wzrostem roślin w niektórych seriach w doświadczeniu z 1960 roku przedstawia ryc. 1.

Analizy przeprowadzone przed założeniem doświadczenia wykazały, że w 8 kg piasku (ilość stosowana do 1 wazonu) znajdowało się około 80 mg K_2O i 60 mg Na_2O. Rośliny kontrolne (bez potasu i bez sodu w pożywce) oraz rośliny żywione samym sodem mogły korzystać tylko z tych niewielkich ilości potasu, które zawierał piasek. Procentowa zawartość K_2O w częściach nadziemnych tych roślin wahała się w granicach od 0,5—0,8% s.m., a w korzeniach od 0,4—0,7% s.m. Podobnie przedstawiało się pobieranie sodu przez rośliny kontrolne i rośliny żywione samym potasem; procentowa zawartość Na_2O w częściach nadziemnych tych roślin wynosiła (w różnych latach doświadczeń) od 0,1—0,7% s.m., a w korzeniach od 0,4—0,8% s.m.

Procentowe zawartości potasu, sodu i wapnia w częściach nadziemnych i korzeniach seradeli zestawione są w tabeli 4. Wartości te podano tylko przykładowo dla 1958 roku, ponieważ w następnych latach wymienione składniki pokarmowe pobierane były w podobnych proporcjach.

TABELA 4 — TABLE 4

Procentowe zawartości sodu, potasu i wapnia w częściach nadziemnych i korzeniach seradeli

Percentage contents of potassium, sodium and calcium in tops and roots of serradilla

(1958)

Serie Series	Części nadziemne Tops			Korzenie Roots		
	K_2O %	Na_2O %	CaO %	K_2O %	Na_2O %	CaO %
K-0 Na-0	0,79	0,54	2,65	0,36	0,45	0,54
K-¼ ,,	0,93	0,28	2,46	0,35	0,31	0,51
K-½ ,,	1,29	0,17	2,35	0,56	0,30	0,58
K-¾ ,,	1,89	0,15	2,37	0,81	0,31	0,55
K-1 ,,	2,00	0,13	1,85	0,78	0,26	0,48
K-2 ,,	3,59	0,12	1,43	1,12	0,20	0,65
Na-¼ K-0	0,49	0,82	2,47	0,19	0,34	0,52
Na-½ ,,	0,46	1,27	2,49	0,14	0,46	0,53
Na-¾ ,,	0,48	1,62	2,30	0,15	0,54	0,50
Na-1 ,,	0,46	1,87	1,90	0,26	0,72	0,41
Na-2 ,,	0,45	2,59	1,60	0,16	0,73	0,61
K-¾ + Na-¼	1,69	0,41	1,72	0,67	0,68	0,96
K-½ + Na-½	1,30	0,66	1,95	0,35	0,60	0,83
K-¼ + Na-¾	0,80	1,04	1,67	0,26	0,73	0,70
K-1 + Na-½	2,45	0,49	1,41	0,84	0,78	1,09
K-1 + Na-1	2,67	0,67	1,25	0,79	1,53	1,30

Jak wynika z zestawienia podanego w tab. 4, wraz ze wzrostem dawki potasu zwiększała się jego procentowa zawartość w roślinach. Równocześnie wzrastała ogólna jego ilość pobrana przez rośliny z 1 wazonu (tab. 5). W roślinach, które otrzymały dawkę K_2O = 500 mg/waz., a które dały najwyższy plon, procentowa zawartość potasu w częściach nadziemnych wynosiła (w różnych latach doświadczeń) od 1,8—3,0% s.m. Rośliny te wykorzystały około 70% K_2O podanego w pożywce. Natomiast w roślinach żywionych najwyższą dawką potasu wynoszącą K_2O = 1000 mg/waz. procentowa jego zawartość była znacznie wyższa i wynosiła od 3,6—4,5% s.m. Rośliny te pobrały około 50—60% potasu podanego w pożywce, lecz plon ich ulegał już pewnemu obniżeniu.

Pobieranie sodu przez seradelę było w dużym stopniu uzależnione od zawartości potasu w środowisku odżywczym. W przypadku stosowania samego sodu w pożywce, wraz ze wzrostem dawki tego składnika zwiększała się jego procentowa zawartość w roślinach, jak również ogólna ilość pobrana z wazonu (tab. 4 i 5). Natomiast przy stosowaniu wzrastających dawek sodu w obecności potasu, procent sodu w częściach nadziemnych ulegał wprawdzie zwiększeniu, lecz w znacznie mniejszym stopniu niż przy niedoborze potasu. Stosunkowo większe ilości sodu gromadziły wówczas korzenie. W serii Na-1, która dała najwyższy plon spośród serii, w których stosowano tylko sód, zawartość Na_2O w nadziemnych częściach roślin wynosiła w różnych latach od 1,9—2,5%. Jeżeli natomiast tę samą dawkę sodu zastosowano obok pełnej dawki potasu, procent Na_2O zmniejszał się prawie trzykrotnie i wynosił odpo-

TABELA 5 — TABLE 5

Ilości potasu, sodu i wapnia pobrane przez seradelę
(części nadz. + korzenie)
Amounts of potassium, sodium and calcium adsorbed by serradilla
(tops + roots)

mg/wazon
mg per pot

Serie / Series	1958			1959			1960		
	K_2O	Na_2O	CaO	K_2O	Na_2O	CaO	K_2O	Na_2O	CaO
K-0 Na-0	59,9	43,0	189,7	43,7	38,8	167,6	42,4	51,7	232,8
K-¹/₄ ,,	126,9	46,5	351,2	—	—	—	—	—	—
K-½ ,,	217,2	36,0	381,7	216,2	40,3	262,7	—	—	—
K-³/₄ ,,	322,4	33,8	388,0	—	—	—	—	—	—
K-1 ,,	358,1	30,2	323,7	410,0	31,7	245,6	345,6	54,9	517,5
K-2 ,,	600,0	25,8	245,0	507,5	24,3	177,9	—	—	—
Na-¹/₄ K-0	54,1	91,1	264,0	—	—	—	—	—	—
Na-½ ,,	52,9	146,8	279,1	46,4	134,4	206,4	—	—	—
Na-³/₄ ,,	57,4	195,7	271,0	—	—	—	—	—	—
Na-1 ,,	64,0	251,5	248,2	44,1	208,3	224,4	68,5	278,5	438,4
Na-2 ,,	59,6	343,4	216,0	45,9	195,1	147,7	—	—	—
K-³/₄ + Na-¹/₄	302,7	102,6	319,5	—	—	—	—	—	—
K-½ + Na-½	228,7	130,1	353,7	257,5	118,3	231,1	163,8	159,2	410,0
K-¹/₄ + Na-³/₄	132,1	180,2	278,5	—	—	—	—	—	—
K-1 + Na-1½	388,2	94,7	240,8	354,0	89,6	208,8	—	—	—
K-1 + Na-1	368,6	121,0	192,4	337,0	110,4	199,7	—	—	—

wiednio 0,67—0,74%, jak również zmniejszała się ilość sodu pobrana z 1 wazonu. Najwyższą procentową zawartość sodu stwierdzono w roślinach serii Na-2, gdzie wynosiła ona od 2,6—2,8% s. m. (w różnych latach doświadczeń). Dawka ta nie powodowała już dalszego wzrostu plonu, a nawet (w 1959 r.) plon uległ obniżeniu. Z danych tych wynika, że pobieranie sodu jest w dużym stopniu uzależnione od ilości potasu w substracie. Nie stwierdzono natomiast działania sodu ograniczającego pobieranie potasu, ponieważ w przypadku jednoczesnego stosowania potasu i sodu w różnych ilościach, pobieranie potasu przez rośliny było proporcjonalne do wysokości dawki i niezależne od ilości sodu w pożywce.

Zarówno sód jak i potas wywierały wpływ na pobieranie wapnia przez seradelę. Jak wynika z zestawień podanych w tabelach 4 i 5, przy zastosowaniu wysokich dawek potasu, względnie sodu, procentowa zawartość CaO w częściach nadziemnych ulegała zmniejszeniu, jak również zmniejszała się ogólna ilość wapnia pobrana z 1 wazonu. Ten sam efekt wywoływało stosowanie sodu obok optymalnej dawki potasu (serie: K-1 + Na-1/2 i K-1 + Na-1). Zawartość wapnia w korzeniach utrzymywała się w przybliżeniu na tym samym poziomie, za wyjątkiem serii, w których stosowano dodatek sodu do optymalnej dawki potasu, a w których procent CaO nieco się zwiększał.

W tabeli 6 zestawione są ilości azotu pobrane przez rośliny poszczególnych serii nawozowych. Oprócz ogólnego plonu azotu z wazonu podano ilość azotu związanego przez układ *seradela* + *Rhizobium* z atmosfery; obliczano ją z różnicy pomiędzy ogólnym plonem azotu uzyskanym z analizy, a ilością azotu podaną w pożywce (235 mg na wazon). Tego rodzaju obliczenie ilości N_2 związanego z powietrza można przyjąć jedynie przy założeniu, że rośliny wyczerpały wszystek azot ze środowiska odżywczego. Ponieważ nie jest możliwe, aby rośliny pobrały wszystek azot podany w pożywce, należy sądzić, że ilości N_2 związanego z atmosfery były większe od podanych w tabeli, w żadnym jednak wypadku nie mogły być od nich mniejsze. Jednakże obliczenia te przeprowadzono celem uzyskania pewnych zależności pomiędzy zastosowanymi dawkami potasu lub sodu a energią wiązania wolnego azotu przez układ *seradela* + *Rhizobium*.

Jak wynika z tabeli 6 ilość azotu związanego z atmosfery stopniowo wzrastała wraz ze wzrostem dawki potasu i najwyższa była u roślin serii K-1. Rośliny serii K-2 pobrały już nieco mniejsze ilości N_2 z powietrza. Podobne zależności występowały w warunkach żywienia roślin samym sodem, przy czym najintensywniejsze wiązanie N_2 wykazywały rośliny serii Na-1. Jednakże rośliny żywione wzrastającymi dawkami sodu (bez potasu) wykazywały znacznie mniejszą energię wiązania wolnego azotu niż rośliny żywione analogicznymi dawkami potasu. Nato-

miast dodatek sodu do małych dawek potasu wpływał na znaczne zwiększenie ilości N_2 związanego z atmosfery. Porównując ilości azotu związanego z powietrza przez układ *seradela* + *Rhizobium* przy żywieniu roślin optymalną dawką potasu (K-1) i przy zastąpieniu czwartej części lub połowy tej dawki przez sód możemy stwierdzić, że są one prawie jednakowe. Jeżeli natomiast zastąpiono sodem $^3/_4$ optymalnej dawki potasu, wówczas ilość związanego N_2 ulegała zmniejszeniu. Podobnie mniejsze ilości azotu wiązały z atmosfery rośliny, którym do optymalnej dawki potasu dodawano sód.

TABELA 6 — TABLE 6

Wpływ żywienia sodem i potasem na symbiotyczne wiązanie azotu przez seradelę
The effect of sodium and potassium nutrition on the symbiotic nitrogen fixation of serradilla

Dawka azotu na wazon = 235 mg N
Nitrogen added per pot = 235 mg N

Serie Series	1958		1959		1960	
	Plon N Total yield of N mg	Przyswojony symbiotycznie N Symbioticaly fixed N mg	Plon N Total yield of N mg	Przyswojony symbiotycznie N Symbioticaly fixed N mg	Plon N Total yield of N mg	Przyswojony symbiotycznie N Symbioticaly fixed N mg
K-0 Na-0	223,2	*	144,8	*	288,9	53,9
K-$^1/_4$,,	364,4	129,4	—	—	—	—
K-½ ,,	419,3	184,3	326,6	91,6	—	—
K-$^3/_4$,,	470,2	235,2	—	—	—	—
K-1 ,,	606,5	371,5	444,9	209,9	766,4	531,4
K-2 ,,	549,4	314,4	384,2	149,2	—	—
Na-$^1/_4$ K-0	320,5	80,5	—	—	—	—
Na-½ ,,	330,0	95,0	274,8	39,8	—	—
Na-$^3/_4$,,	387,3	152,3	—	—	—	—
Na-1 ,,	426,6	191,6	286,7	51,7	479,6	244,6
Na-2 ,,	394,6	159,6	223,2	*	—	—
K-$^3/_4$ + Na-$^1/_4$	586,0	351,0	—	—	—	—
K-½ + Na-½	574,6	339,6	426,1	191,1	777,8	542,8
K-$^1/_4$ + Na-$^3/_4$	518,5	283,5	—	—	—	—
K-1 + Na-½	534,4	299,4	408,4	173,4	—	—
K-1 + Na-1	477,6	242,6	353,1	118,1	—	—

* Z obliczenia wynika, że rośliny nie pobrały azotu z atmosfery. Jednakże brodawkowanie, jakkolwiek słabe, świadczyło, że zachodził proces symbiotycznego wiązania N_2.

Ponieważ z nasilenia brodawkowania roślin i z zabarwienia brodawek można w pewnym stopniu wnioskować o energii wiązania wolnego azotu, po likwidacji doświadczenia w 1960 roku zebrano wszystkie brodawki z korzeni roślin czterech serii (które uznano za najważniejsze). Okazało się, że większość brodawek posiadała intensywnie różowe zabarwienie, co stanowiło wskaźnik energicznego wiązania azotu atmosferycznego. Brodawki po zebraniu wysuszono i zważono. Jak wynika z tabeli 7 rośliny kontrolne charakteryzowały się najsłabszą nodulacją, natomiast brodawkowanie roślin żywionych samym sodem było o 70% silniejsze. U roślin żywionych samym potasem nodulacja była najsilniejsza i nie ulegała zmniejszeniu, jeżeli połowę dawki potasu zastąpiono sodem.

TABELA 7 — TABLE 7

Plony brodawek korzeniowych seradeli w zależności od żywienia sodem lub potasem

Yields of root nodules of serradilla in relation to sodium and potassium nutrition

Serie Series		Plony brodawek korzeniowych p.s.m. Yields of root nodules air d.m.
K-0	Na-0	1,8
K-1	Na-0	6,6
K-0	Na-1	3,0
K-½	Na-½	7,0

W czasie wegetacji roślin (1958 r. i 1959 r.) dwukrotnie oznaczano intensywność oddychania (tab. 8). Stwierdzono bardzo wysoką intensywność tego procesu przy braku potasu i sodu w pożywce. U roślin żywionych samym potasem lub samym sodem intensywność oddychania była w przybliżeniu jednakowa i znacznie niższa niż u roślin kontrolnych. Należy tutaj podkreślić, że liście seradeli są bardzo dogodnym obiektem dla oznaczania intensywności oddychania, ponieważ pojedyncze listki są drobne i można je w całości (bez krojenia) umieszczać w naczyńkach aparatu Warburga. Wyklucza to możliwość wpływu uszkodzenia tkanki na wynik oznaczenia.

TABELA 8 — TABLE 8

Wpływ żywienia sodem lub potasem na intensywność oddychania seradeli

Effect of sodium and potassium nutrition on the respiration intensity of serradilla

Serie Series	Ilość O_2 pobranego w ciągu 60 min O_2 uptake during 60 min. µl	
	20.VII.58.	11.VII.59.
K-0 Na-0	176,6	152,9
K-1 Na-0	137,5	96,3
K-0 Na-1	130,3	90,0

DYSKUSJA

Praca przedstawia wyniki 3-letnich doświadczeń wazonowych nad rolą sodu w żywieniu seradeli. Wykazały one, że stosowanie pożywki zawierającej tylko sód (bez potasu) powodowało zwiększanie plonu części nadziemnych i korzeni. Maksymalny plon, jaki uzyskano przy nawożeniu sodowym, był w różnych latach o 66—81% wyższy od plonu roślin kontrolnych. Rośliny serii kontrolnych i serii, w których stosowano tylko sód, mogły jednak korzystać z niewielkich ilości potasu, jakie zawierał piasek (około 80 mg K_2O w 1 wazonie); z tego względu nawożenie sodowe należałoby tutaj traktować jako uzupełnienie sodem skrajnie deficytowej dawki potasu. Jeżeli więc porównamy plony roślin kontrolnych i roślin, którym dodano tylko sód w pożywce, to wzrost plonu tych ostatnich należy przypisać wyłącznie sodowi. Niewielkie ilości potasu, jakie znajdowały się w piasku, były pobierane przez te rośliny i przemieszczały się ze starszych ich organów do młodszych. Zjawisko to było bardzo wyraźne u roślin kontrolnych, których najmłodsze części pozostawały zielone, podczas gdy listki na starszych pędach żółkły, brunatniały i masowo opadały. U roślin żywionych tylko sodem objawy braku potasu występowały w późniejszym okresie wegetacji i były znacznie słabsze niż u roślin kontrolnych. Podobne działanie sodu w kierunku osłabiania i opóźniania występowania objawów braku potasu zaobserwowali również Mullison W. R. i Mullison E. (1942) u jęczmienia, Volk N. J. (1946) i Lancaster i in. (1953) u bawełny, a Hutcheson T. B. i in. (1959) u tytoniu. Być może sód zajmował wówczas miejsce potasu w starszych częściach roślin przejmując pewne jego funkcje.

Potwierdzać to mogą badania Wallace'a A. i in. (1948), którzy wykazali, że w warunkach niskiego poziomu potasu w środowisku większość sodu gromadziła się w łodygach lucerny. Również Appling E. D. i Giddens J. (1954), przeprowadzając analizy roślin bawełny żywionej sodem w warunkach niedoboru potasu, stwierdzili największe nagromadzenie potasu w młodych organach roślin, podczas gdy sód był obecny głównie w starszych częściach. Ponadto dodatnie działanie sodu na plon w warunkach niskiego poziomu potasu stwierdzili Mullison W. R. i Mullison E. (1942) u jęczmienia, Cooper H. P. i in. (1953) u bawełny, Cope J. T. i in. (1953) u owsa, koniczyny i innych roślin uprawnych, a Truog E. i in. (1953) u lucerny i jęczmienia.

Analizując wyniki naszych doświadczeń należałoby wnosić, że działanie sodu na plon seradeli było zależne od ilości potasu znajdującej się w środowisku odżywczym. Przy skrajnym niedobrze potasu, to znaczy w przypadku, gdy nie był on stosowany w pożywce i rośliny miały do dyspozycji tylko te jego ilości, które zawierał piasek, dodatnie działanie dawek sodu było stosunkowo duże; jednakże plon roślin nie osiągał nigdy wysokości uzyskiwanej przy stosowaniu nawet najniższej dawki potasu w pożywce. W miarę wzrostu dawki potasu dodatnie działanie dodatku sodu na plon stopniowo malało, a przy optymalnej dawce K_2O dodatek sodu powodował nawet pewną obniżkę plonu. Zjawisko zmniejszania się dodatniego działania sodu na plon roślin wraz ze wzrostem poziomu potasu w środowisku zaobserwowali również Cooper H. P. i in. (1953) u bawełny, a Truog E. i in. (1953) u lucerny uprawianej w kulturach wodnych. Na tej podstawie działanie sodu należałoby ograniczyć tylko do funkcji zastępczych w stosunku do potasu.

W naszych doświadczeniach dla otrzymania najwyższego plonu seradeli przy nawożeniu sodem konieczna była obecność pewnej ilości potasu w substracie. Ilość ta wynosiła połowę optymalnej dawki potasu (= $^1/_2$ K). Uzupełnienie tej dawki do wartości odpowiadającej K-1 zarówno sodem, jak i potasem dawało jednakowy przyrost plonu. W tym wypadku działanie sodu było więc identyczne z działaniem potasu.

Reasumując należy stwierdzić, że seradelę można zaliczyć do roślin, w których rola sodu polega na częściowym zastępowaniu potasu w jego oddziaływaniu na plon. Jednakże uzyskanie maksymalnego plonu seradeli przy nawożeniu sodem uwarunkowane jest obecnością pewnej niezbędnej ilości potasu w środowisku odżywczym.

Analizy materiału roślinnego wykazały, że seradela pobierała stosunkowo duże ilości sodu. Ilości te były zależne nie tylko od wysokości zastosowanej dawki sodu, lecz również od poziomu potasu w środowisku. W przypadku niedostatecznej ilości potasu rośliny pobierały stosunkowo dużo sodu, natomiast przy wysokim poziomie potasu sód wprawdzie był

pobierany, lecz w znacznie mniejszych ilościach. Z drugiej jednak strony nawet wysokie dawki sodu nie wywierały ograniczającego wpływu na pobieranie potasu. Zarówno potas, jak i sód stosowane w dużych dawkach powodowały zmniejszenie zawartości wapnia w roślinach.

Zjawisko wzajemnej zależności pomiędzy pobieraniem tych trzech kationów, a mianowicie: potasu, sodu i wapnia przez rośliny zostało zaobserwowane przez wielu badaczy: Cooper H. P. i in. (1953), Lancaster J. D. i in. (1953), Larson W. E. i Pierre W. H. (1953), Truog E. i in. (1953), Joham E. H. (1955), Scharrer K. i Jung J. (1955) i Hutcheson T. B. (1959). Zjawisko to tłumaczą Bear F. E. (1950) oraz Scharrer i Jung (1955 i 1957) koniecznością utrzymania w roślinie stałego, zgodnego z prawami elektrostatyki stosunku pomiędzy kationami i anionami. W badaniach nad tym zagadnieniem wykazali oni, że stosunek kationów do anionów w roślinie posiada pewną stałą wartość, skutkiem czego, przy nie zmienionej zawartości anionów, zwiększonemu pobieraniu jednego kationu towarzyszy zmniejszone pobieranie innego. Potas zajmuje, ze względu na swoje fizjologiczne znaczenie, wyjątkową pozycję wśród kationów, to znaczy, że jego pobieranie jest niezależne od ilości innych kationów w podłożu, może on natomiast wywierać wpływ ograniczający pobieranie innych kationów, jak np. sodu lub wapnia. W naszych doświadczeniach zmniejszanie się pobierania sodu przez seradelę przy wysokim poziomie potasu w środowisku, jak również zmniejszone pobieranie wapnia przy wysokich dawkach potasu lub sodu należałoby tłumaczyć koniecznością utrzymania równowagi pomiędzy kationami i anionami w roślinach.

Pobierania stosunkowo dużych ilości sodu przez seradelę nie można tłumaczyć wpływem towarzyszącego mu anionu. Według prac Scharrera i Junga (1957) pobieranie sodu zależy bowiem w dużym stopniu od fizjologicznego znaczenia anionu, z jakim jest on stosowany, a mianowicie: anion Cl' powoduje zmniejszenie pobierania sodu, natomiast aniony — fosforanowy i azotanowy sprzyjają jego pobieraniu; anion siarczanowy zajmuje miejsce pośrednie. Ponieważ w naszych doświadczeniach stosowany był tylko siarczan sodowy, wykluczało to zarówno ujemne, jak i sprzyjające działanie anionu na pobieranie sodu.

Omawiając problem pobierania jonów sodowych przez seradelę należy podkreślić, że wysoka hydratacja jonu Na^+, znacznie większa niż jonu K^+, utrudnia jego przenikanie przez ścianki komórkowe korzeni. Troug E. i in. (1953), McLean E. D. (1956), Scharrer K. i Jung J. (1957) podają, że ze względu na wysoki stopień uwodnienia jon Na^+ pobierany jest przez niektóre rośliny (kukurydza, słonecznik, cebula) w bardzo niewielkich ilościach i w związku z tym u tych roślin nie można stwierdzić dodatniego działania sodu na plon. Według Lunde-

gardha H. (1960) silniejsza hydratacja jonów Na^+ w porównaniu z jonami K^+ może prowadzić do zmian w stanie uwodnienia koloidów plazmy. Jak wiadomo, jony potasu i sodu działają w kierunku zwiększenia uwodnienia plazmy w przeciwieństwie do odwadniającego działania jonów wapnia. W naszych doświadczeniach w przypadku stosowania sodu obok dużej dawki potasu, a także przy bardzo wysokich dawkach potasu lub sodu następowało w roślinach nagromadzanie dużych ilości jonów K^+ i Na^+ przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości Ca^{++}, co prowadziło prawdopodobnie do nadmiernego uwodnienia koloidów plazmy. Ponieważ właściwy przebieg procesów życiowych w komórce związany jest z odpowiednim stanem hydratacji koloidów komórkowych nadmierne nagromadzenie się jonów jednowartościowych w komórkach mogło być przyczyną obniżenia plonów w tych seriach.

Ilości azotu związanego z atmosfery przez zespół *seradela* + *Rhizobium* w przypadku stosowania samego sodu lub sodu w połączeniu z potasem mogą potwierdzać przypuszczenie, że sód zastępuje potas w jego niektórych fizjologicznych funkcjach. Przypuszczenie to nasuwać mogą następujące wyniki: przy żywieniu sodem rośliny wiązały znacznie więcej azotu z powietrza niż rośliny serii kontrolnej, przy czym stwierdzono stałe zwiększanie się ilości azotu związanego symbiotycznie wraz ze wzrostem dawki sodu w pożywce aż do wartości Na-1. Zastąpienie czwartej części lub połowy optymalnej dawki potasu przez sód nie wpłynęło na zmianę energii wiązania wolnego azotu w porównaniu z żywieniem pełną dawką potasu. Dodatek sodu do każdej dawki potasu leżącej poniżej optymalnej silnie wzmagał wiązanie N_2 z atmosfery. Stwierdzono ponadto znacznie silniejsze brodawkowanie roślin żywionych samym sodem w porównaniu z nodulacją roślin kontrolnych i intensywnie różowe zabarwienie tych brodawek, co również stanowiło wskaźnik energicznego wiązania N_2. Przy zastąpieniu połowy dawki potasu odpowiednią ilością sodu brodawkowanie roślin było najsilniejsze i bardzo zbliżone do nodulacji przy pełnym nawożeniu potasowym.

Przytoczone wyniki świadczyć mogą, że stosowanie sodu w warunkach niedoboru potasu silnie wzmaga energię symbiotycznego wiązania azotu. Energia ta według wielu badaczy (cyt. wg Nowotny-Mieczyńskiej 1960) zależy nie tylko od aktywności szczepu *Rhizobium*, ale i od warunków wzrostu rośliny-gospodarza. Jak wykazali Demolon A. i Dunéz A. (1943) pozostaje ona, między innymi, w ścisłym związku z procesami oddychania bakterii, a więc z dopływem do brodawek odpowiedniej ilości węglowodanów, które dostarczane są przez nadziemne części rośliny do korzeni. Wyniki naszych doświadczeń nasuwają przypuszczenie, że sód, być może, odgrywa pewną rolę w powstawaniu węglowodanów w roślinie i tą drogą wpływa pośrednio na intensywność

wiązania N_2 z atmosfery przez układ roślina + *Rhizobium*. Jak wykazali Wall E. (1940), Nightingale G. T. (1943), Hoagland D. R. (1948) i wielu innych późniejszych badaczy, potas bierze udział, pośrednio lub bezpośrednio, w syntezie węglowodanów w roślinie, rola sodu polegałaby więc na częściowym zastępowaniu potasu w tych funkcjach. Pewne potwierdzenie tego przypuszczenia dają prace Truoga E. i in. (1953), którzy wykazali zwiększenie zawartości węglowodanów w burakach, marchwi i słomie owsa w przypadku stosowania nawożenia sodowego. Potwierdzają to również badania Schmidta L. (1957), który stwierdził wzrost asymilacji CO_2 u szpinaku przy częściowym zastąpieniu potasu przez sód, względnie przy stosowaniu samego sodu. Ten sam badacz podaje jednak, że u szpinaku „żywionego" sodem następuje znaczne zwiększenie intensywności oddychania, podobnie jak w przypadku deficytu potasu. Pirson A. (1937) stwierdził u *Chlorelli* znaczny spadek intensywności asymilacji CO_2 przy jednoczesnym wzroście intensywności oddychania zarówno przy braku potasu i sodu, jak i przy stosowaniu samego sodu do pożywki. Po dodaniu potasu intensywność oddychania komórek *Chlorelli* powracała do normalnego poziomu, a wzrastała energia wiązania CO_2. Pirson wyciągnął z tego wniosek, że sód nie może zastąpić potasu w jego podstawowych funkcjach.

Pomiary intensywności oddychania, przeprowadzone na seradeli, nie potwierdziły wyników otrzymanych przez Pirsona i Schmidta, nie stwierdzono bowiem różnicy w intensywności oddychania pomiędzy roślinami żywionymi samym sodem lub samym potasem, podczas gdy rośliny kontrolne oddychały znacznie silniej. Jednakże w naszych warunkach nie było możliwe przeprowadzenie pomiarów natężenia fotosyntezy, które mogłyby również rzucić pewne światło na problem udziału sodu w metabolizmie węglowodanów.

Na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń można jednak wyciągnąć wniosek, że sód prawdopodobnie odgrywa pewną rolę w metabolizmie węglowodanów u seradeli. Być może rola jego polegałaby, z jednej strony na częściowym zastąpieniu potasu w tych funkcjach, a z drugiej strony na umożliwieniu wykorzystania małych ilości potasu w jego specyficznych funkcjach, w których nie może on być zastąpiony przez żaden inny pierwiastek. Dokładniejsze poznanie tego zagadnienia wymaga jeszcze dalszych badań.

STRESZCZENIE

W trzyletnich doświadczeniach wazonowych na piasku badano rolę sodu w żywieniu seradeli. Stwierdzono, że sód może zastąpić potas do połowy wysokości dawki. Dla otrzymania maksymalnego plonu, przy na-

wożeniu sodowym, konieczna była obecność pewnej niezbędnej ilości potasu w środowisku odżywczym. Seradela nie reagowała zwyżką plonu na nawożenie sodem przy wysokim poziomie potasu, co wskazywałoby, że sód nie wywiera samodzielnego, niezależnego od potasu działania. Pobieranie sodu było zależne nie tylko od wysokości dawki, lecz również od poziomu potasu w pożywce. Duże dawki potasu ograniczały pobieranie sodu, natomiast sód nie wpływał na zmniejszenie pobierania potasu. Zarówno sód, jak i potas stosowane w dużych dawkach ograniczały pobieranie wapnia.

Nawożenie roślin samym sodem zwiększało brodawkowanie i energię wiązania wolnego azotu przez układ *seradela* + *Rhizobium*, w porównaniu z roślinami kontrolnymi. Przypuszcza się, że dodatnie działanie sodu na ten proces polega na częściowym zastępowaniu potasu w metabolizmie węglowodanów, które z jednej strony są niezbędnym substratem dla bakterii w procesie oddychania, a z drugiej strony stanowią materiał do syntezy związków białkowych i innych związków organicznych w roślinach. Ponadto rola sodu, w przypadku niedoboru potasu, polega prawdopodobnie na umożliwieniu wykorzystania małych ilości potasu w jego specyficznych funkcjach, w których nie może on być zastąpiony przez żaden inny pierwiastek.

Kierownikowi Pracowni Fizjologii Żywienia Roślin IUNG w Puławach, Prof. dr A. Nowotny-Mieczyńskiej wyrażamy serdeczne podziękowanie za podanie tematu niniejszej pracy i cenne rady w czasie jej wykonywania.

Pracownia Fizjologii Żywienia Roślin IUNG
w Puławach
Kierownik: Prof. dr A. Nowotny-Mieczyńska

(Wpłynęło dn. 10.2.1961 r.)

SUMMARY

During 3 years (1958—1960) the response of serradilla to sodium at different levels of potassium fertilization was investigated in pot-experiments on pure sand. The optimal level of potassium (as K_2SO_4) was 500 mg K_2O per pot; analogous level of sodium (as Na_2SO_4) was 330 mg Na_2O per pot.

The results indicated that the nutrition of serradilla with sodium increased the yield (Tab. 1) and reduced the severity of potassium-deficiency symptoms, when no potassium was applied.

Potassium produced greater increase in yield of serradilla than did sodium, but yield of plants was equally high when half the potassium

was substituted by sodium. Serradilla did not respond to the sodium nutrition when the supply of potassium was adequate (Tab. 2, 3).

The amounts of sodium adsorbed by plants depended not only on the level of this element, but also on the amount of potassium given in the nutrient solution. Addition of potassium reduced the uptake of sodium; on the other hand even the highest doses of sodium did not reduce the potassium uptake. The addition of large amounts of either K or Na reduced the uptake of calcium (Tab. 4, 5).

The addition of sodium to the nutrient solution at potassium deficiency increased the nodulation and the energy of symbiotic nitrogen fixation of serradilla inoculated with an effective strain of *Rhizobium lupini* (Tab. 6, 7). It suggests that the beneficial effect of sodium consists in partial replacing of potassium in carbohydrate metabolism. Moreover, the fertilization with sodium may allow more effective use of potassium for certain specific essential functions under conditions of potassium deficiency.

Laboratory of Plant Nutrition Physiology
The Institute for Soil Cultivation, Fertilizing and Soil Science
Puławy, Poland

LITERATURA

1. Appling E. D., Giddens J., 1954, Differences in sodium and potassium content of various parts of the cotton plant at four stages of growth, Soil Sci. 78 (3).
2. Bear F. E., 1950, Cation and anion relationships in plants and their bearing on crop quality, Agron. J. 42: 176—178.
3. Cooper H. P., Paden W. R., Philippe M. M., 1953, Effects of applications of sodium in fertilizer on yields and composition of the cotton plants, Soil Sci. 76: 19—28.
4. Cope J. T., Bradfield R., Peech M., 1953, Effect of sodium fertilization on yield and cation content of some yield crops, Soil Sci. 76: 65—75.
5. Demolon A., Dunéz A., 1943, Recherches sur le mechanisme de la fixation, Ann. Agron. 13 (1).
6. Harmer P. M., Benne E. J., 1945, Sodium as a crop nutrient, Soil. Sci. 60: 137—148.
7. Hoagland D. R., 1948, Lectures on the inorganic nutrition of plants, Waltham Mass, U.S.A.
8. Humphries E. C., 1956, Moderne Methoden der Pflanzenanalyse, Springer-Verlag, Berlin: 468—502.
9. Hutcheson T. B., Woltz W. G., McCaleb S. B., 1959, Potassium-sodium interrelationships, Soil Sci. 87 (1): 28—38.
10. Joham E. H., 1955, The calcium and potassium nutrition of cotton as influenced by sodium, Plant Physiol. 30 (1).

11. Korczewski M., Majewski F., 1934, Względna wartość pokarmowa sodu w porównaniu z potasem, Roczn. Nauk Roln. 31: 141—166.
12. Lancaster J. D., Andrews W. B., Jones U. S., 1953, Influence of sodium on yield and quality of cotton lint and seed, Soil Sci. 76: 29—40.
13. Larson W. E., Pierre W. H., 1953, Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops, Soil Sci. 76: 51—64.
14. Lehr J. J., 1949, Exploratory pot experiments on sensitiveness of different crops to sodium, A. Spinach., Plant and Soil 2: 37—48.
15. Lehr J. J., 1951, Importance of sodium for plant nutrition, V. Response of crops other than beet, Soil Sci. 72: 157—166.
16. Lehr J. J., 1953, Exploratory pot experiments on sensitiveness of different crops to sodium, B. Oats. Plant and Soil 4 (4).
17. Lehr J. J., Bussink A. Th., 1955, Changes in the views of sodium, Inform. Nitr. Corp. Chile, Wg ref. Z. Pflernährung, Düng. Bodenkunde, 76 (1), 1957.
18. Lundegardh H., 1960, Pflanzenphysiologie, Gustav Fischer Verlag, Jena: 435—444.
19. McLean E. D., 1956, Uptake of sodium and other cations by five crop species, Soil Sci. 82: 21—28.
20. Mullison W. R., Mullison E., 1942, Growth responses of barley seedlings in relation to potassium and sodium nutrition, Plant Physiol. 17: 632—644.
21. Nightingale G. T., 1943, Physiological-chemical functions of potassium in crop growth, Soil Sci. 55: 73—78.
22. Nowotny-Mieczyńska A., Gołębiowska J., 1960, Krążenie azotu w przyrodzie, PWRiL, Warszawa.
23. Pirson A., 1937, Ernährungs- und stoffwechselphysiologische Untersuchungen an *Fontinalis* und *Chlorella*, Zeitschr. f. Bot. 31: 193—267.
24. Scharrer K., Jung J., 1955, Der Einfluss der Ernährung auf das Verhältnis von Kationen zu Anionen in der Pflanze, Zeitschr. f. Pflernährung, Düngung, Bodenk. 71 (1).
25. Scharrer K., Jung J., 1955, Weitere Untersuchungen über die Nährstoffaufnahme und das Verhältnis von Kationen zu Anionen in der Pflanze, Zeitschr. f. Pflernährung, Düng. Bodenk. 71 (2).
26. Scharrer K., Jung J., 1957, Über den Einfluss verschidener Anionen auf die Aufnahme von Calcium, Natrium und Kalium, Plant a. Soil 9 (1).
27. Schmidt L., 1957, wg Handbuch der Pflanzenphysiologie t. IV. 1958; 482—557.
28. Truog E., Berger K. C., Attoe D. J., 1953, Response of nine economic plants to fertilization with sodium, Soil Sci. 76: 41—50.
29. Volk N. J., 1946, Nutritional factors affecting cotton rust, J. Am. Soc. Agron. 38: 6—12.
30. Wall E., 1940, The role of potassium in plants. II. Effect of varying amounts of potassium on the growth status and metabolism of tomato plants, Soil Sci. 49: 315—331.
31. Wallace A., Toth S. J., Bear F. E., 1948, Influence of sodium on growth and composition of ranger alfalfa, Soil Sci. 65: 477—486.