Badania nad oddychaniem korzeni

Cz. II

(Wpływ niektórych związków mineralnych)

Recherches sur la respiration des racines. Partie II.

(Influence des certaines substances minérales)

S. GUMIŃSKI, W. CZERWIŃSKI, E. UNGER, H. SKRABKA

WSTĘP

W tomie XXIV Acta Soc. Bot. Pol. (1955) opisaliśmy doświadczenia nad wpływem humianu sodowego na oddychanie korzeni. Wyniki uzyskane na pszenicy, kukurydzy i pomidorach wskazywały na to, że próchnica zastępuje częściowo wolny tlen w oddychaniu korzeni. Wyniki te tłumaczyły dobrze fizjologiczny efekt próchnicy, stwierdzony w poprzednich doświadczeniach wegetacyjnych. Ze strony biochemicznej zjawiska te tłumaczą, w ogólnych zarysach, doświadczenia, opisane w tomie XXII Acta Soc. Bot. Pol. (1953). Próchnica, jako układ chinonowy, staje się prawdopodobnie akceptorem wodoru, odrywanego od substratu w procesie oddychania.

W związku z tymi wynikami wyłoniło się pytanie, czy korzenie mogą kompensować niedostatek tlenu w podłożu także przy pomocy utlenionych połączeń mineralnych. Możliwość takiej kompensacji znana jest w biologii — jaskrawy jej przykład stanowi denitryfikacja, dokonywana przez wiele gatunków mikroorganizmów glebowych. Zważywszy na warunki życia korzeni w glebie, możemy przyjąć możliwość podobnej ich adaptacji do tych warunków, a więc także i możliwość kompensowania niedostatku tlenu przy pomocy związków mineralnych.

Celem zbadania tego zagadnienia przeprowadziliśmy szereg doświadczeń, stosując podobną metodykę, jak przy badaniu wpływu związków próchnicznych na oddychanie korzeni (Gumiński i współpracownicy, 1955). Ponieważ niniejsza publikacja jest II częścią pracy nad oddychaniem korzeni, więc nie powtarzamy tutaj metodyki ogólnej, odsyłając czytelnika do wyżej cytowanej części I.

OPIS DOŚWIADCZEŃ

I. ŻELAZO

Z uwagi na wielokrotnie podkreślany przez różnych autorów związek pomiędzy fizjologicznym działaniem próchnicy i żelaza przeprowadzono w pierwszej kolejności badania nad znaczeniem żelaza w oddychaniu korzeni przy niedostatku tlenu w podłożu.

O ile poprzednio mogliśmy użyć do aparatów Lundegardha po prostu wody wodociągowej, dodając próchnicy, to tutaj musieliśmy zastosować zrównoważone roztwory soli mineralnych, zróżnicowane brakiem lub obecnością żelaza.

Doświadczenie I. Wzorując się na stosunkach względnych ciężarowych magnezu, potasu i wapnia w pożywce Hampe i Truffaut, przez rozcieńczenie tejże, zestawiliśmy roztwór podstawowy, złożony z trzech soli $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ 0,028 g, KNO_3 0,057 g, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,071 g, H_2O (dest.) 1 l. Roztwór taki mógł spełniać rolę roztworu zrównoważonego, nie stanowił natomiast przeszkód dla analizy chemicznej na tlen i dwutlenek węgla.

Zastosowano następujące kombinacje:

A) Woda z normalną zawartością tlenu.

a) Roztwór bez żelaza, b) roztwór z żelazem.

B) Woda świeżo przegotowana.

a) Roztwór bez żelaza, b) roztwór z żelazem.

Dawka żelaza wynosiła 0,112 g FeCl_3 na 1 l. Psuło to balans roztworu, ale w ten sposób na plan pierwszy zostało wysunięte żelazo. We wszystkich kombinacjach pH ustalono przy pomocy amoniaku do wartości 6,5.

Skiełkowane w piasku i wyhodowane na pełnej pożywce w kulturach wodnych ok. 3 tygodniowe siewki pszenicy umieszczono w opisanych wyżej roztworach w aparatach Lundegardha. W każdej kombinacji zastosowano 5 powtórzeń, przy czym za jednostkę doświadczalną wzięto jeden aparat Lundegardha zawierający 16 roślin. Równocześnie napełniono roztworami w tej samej ilości identycznej pojemności kolby bez roślin, stosując te same kombinacje, jak z roślinami. Roztwory w kolbach użyte zostały jako kontrole do obliczenia zużycia tlenu i wydzielania dwutlenku węgla, tak jak to opisano w cytowanej wyżej I cz. naszej pracy.

W tabelach przedstawiono zarówno liczby uzyskane z oznaczeń przemiany gazów w danym aparacie jako całości, jak też i w przeliczeniu na 1 g suchej masy korzeni w danym aparacie. Porównanie tych liczb wykazuje dobrą zbieżność wyników. Obliczeń statystycznych dokonano

metodą podbłoków na podstawie liczb odnoszących się do całkowitej przemiany gazów w aparacie, wychodząc z założenia, że wyjście to jest bardziej racjonalne. Przeliczanie bowiem wyników na suchą masę korzeni kryje w sobie możliwości dwóch źródeł błędów: 1. Korzenie są tylko częścią organizmu rośliny i nie kontrolowana reszta organizmu rośliny może mieć wpływ na przebieg ich przemiany materii. 2. Miejsce amputacji korzeni do ustalenia ciężaru suchej masy jest mniej lub więcej dowolne. Natomiast błąd wypływający z porównania przemiany materii nie identycznej wielkości masy jest zredukowany do minimum przez dobieranie równej wielkości roślin przed użyciem ich do doświadczenia oraz przez umieszczenie w jednym aparacie większej ilości roślin. Doświadczenie I przeprowadzono w temperaturze pokojowej przez okres 48 godzin. Wyniki przedstawia tabela 1.

T a b e l a 1
Pszenica, po 16 roślin w aparacie
Froment, 16 plantes dans l'appareil

Roz- twór Solu- tion	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶		W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂	Zużyty Consumé O ₂	Wydzielony Dégagé CO ₂	Zużyty Consumé O ₂		
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
+ Fe	215	266	179	85	1,50	1,65
— Fe	272	243	187	70	2,45	2,30
Przedział ufności L'intervalle de confiance	64,6		62,4			

Jak widać z przytoczonych cyfr, pobieranie tlenu w roztworach z wodą przegotowaną zostało silnie ograniczone, jednakże intensywność oddychania, wyrażona ilością wydzielonego dwutlenku węgla, nie została zmniejszona. Spowodowane to być mogło albo procesami fermentacyjnymi, albo dyfuzją tlenu z nadziemnych części rośliny, albo wreszcie obecnością innych, utlenionych związków mineralnych.

Doświadczenie II. Aby stwierdzić, że otrzymane wyniki nie były przypadkowe, założono drugie, identyczne doświadczenie. Dało ono zupełnie podobny wynik, jak to widać z tabeli 2.

T a b e l a 2

Pszenica, po 15 roślin w aparacie
Froment, 15 plantes dans l'appareil

Roz- twór Solution	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				CO ₂ O ₂	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
+ Fe	254	200	193	84	1,15	1,35	0,85	0,60	1,31	2,39
— Fe	178	176	185	72	0,85	1,75	0,85	0,70	0,96	2,43
Przedział ufności L'interval de confiance	97,1		45,6							

Doświadczenie III. Wobec tego, że w tych warunkach nie otrzymaliśmy zmniejszenia ilości wydzielanego dwutlenku węgla, przeprowadziliśmy następne doświadczenia w sposób zmodyfikowany. Z pożywki usunęliśmy azotany i zastąpiliśmy je chlorkami¹. W kombinacji

T a b e l a 3

Pszenica, po 19 roślin w aparacie
Froment, 19 plantes dans l'appareil

Roztwór Solution	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol·10 ⁻⁶		W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol·10 ⁻⁶	
	Wydzielony CO ₂ Dégagé CO ₂		Wydzielony CO ₂ Dégagé CO ₂	
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
+ Fe	429	244	2,70	1,65
— Fe	360	254	2,15	1,60
Przedział ufności L' intervalle de confiance	105,6			

¹ Ca Cl₂ — 0,047 g; KCl — 0,044 g.

A) (roztwory natlenione) użyliśmy wody utlenionej (w ilości 1,5 ml 3% wody utlenionej na litr roztworu). Czas trwania doświadczenia przedłużyliśmy do 72 godzin. Ta ilość wody utlenionej okazała się zbyt duża ze względów na chemiczną analizę przy likwidacji doświadczenia. Dlatego też w zamieszczonej poniżej tabeli podajemy jedynie ilości wydzielonego dwutlenku węgla.

Tym razem uchwycono spadek intensywności oddychania korzeni przy niedostatku tlenowym. Wynik zdaje się wskazywać, iż żelazo nie kompensuje niedostatku tlenu.

Doświadczenie IV. Zupełnie podobne doświadczenie przeprowadzono na pomidorach.

T a b e l a 4
Pomidory, po 4 rośliny w aparacie
Tomates, 4 plantes dans l' appareil

Roztwór Solution	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O
+ Fe	587	249	705	114	4,25	3,30	5,20	1,50	0,83	2,17
— Fe	513	248	1250	84	4 85	3,05	11,80	1,05	0,40	2,46
Przedział ufności L'intervalle de confiance	104,4		78,6							

Tabela 4 przedstawia wyniki oznaczeń zarówno dwutlenku węgla, jak też i tlenu. Jak zwykle przy pomidorach (patrz cz. I pracy) otrzymaliśmy, przy dobrych warunkach tlenowych, niższy współczynnik oddechowy. Wynik odnośnie żelaza potwierdził poza tym wnioski wysnute z poprzedniego doświadczenia. Także i w tym wypadku udało nam się przez zastosowanie złych warunków tlenowych obniżyć intensywność oddychania w porównaniu do kontroli dobrze natlenionej i powtórnie stwierdziliśmy, iż żelazo nie kompensuje niedostatku tlenu przy oddychaniu korzeni.

Ubocznie zaobserwowaliśmy, iż przy obfitej ilości tlenu w roztworze, korzenie zużywają tlenu więcej w nieobecności żelaza. Jednakże oznaczanie tlenu w wodzie z dodatkiem H₂O₂ w obecności żelaza i porównaw-

czo bez żelaza, nasuwa zastrzeżenia z punktu widzenia analizy chemicznej. Dlatego też wniosku o silniejszym pochłanianiu tlenu w nieobecności żelaza w warunkach silnego natlenienia nie uważamy za należycie uzasadniony. Ponieważ jednak ta ostatnia kwestia nie ma dla naszych badań istotnego znaczenia, nie usiłowaliśmy jej bliżej wyjaśnić.

Wyniki opisanych doświadczeń wykazały, naszym zdaniem, jednoznacznie, iż żelazo trójwartościowe nie kompensuje niedostatku tlenu w oddychaniu korzeni. Ponieważ jednak wyniki pozytywne co do działania próchnicy na oddychanie korzeni miały swoją podbudowę w poprzednich doświadczeniach vegetacyjnych, więc niezależnie od opisanych wyżej badań bezpośrednio nad znaczeniem żelaza w samym procesie oddychania, przeprowadziliśmy też, podobnie jak z próchnicą, doświadczenia vegetacyjne z żelazem.

Doświadczenia V i VI. Jako roślin doświadczalnych użyto dwutygodniowych siewek pomidorów. Czas trwania doświadczenia vegetacyjnego wynosił trzy tygodnie.

Ułożono następujące kombinacje:

1) Pełna dawka żelaza w formie chlorku żelazowego (0,112 g na 1 l pożywki), 2) jedna dziesiąta część dawki 1, 3) pełna dawka żelaza w formie cytrynianu (przeliczenie), 4) jedna dziesiąta część dawki 3.

Połowę słoï wszystkich kombinacji wietrzono, połowę nie wietrzono. Cytrynianu żelazowego użyliśmy z myślą, aby zapewnić optymalne stężenie soli żelazowej równomiernie w całym roztworze. Podane w tej formie żelazo jest przyswajalne, a nie wytrąca się z fosforanami. W każdej kombinacji zastosowano 10 powtórzeń, jednak do oznaczenia suchej masy roślin wzięto tylko po pięć, gdyż połowę kultur zużyto w trakcie doświadczenia do oznaczenia zmian w pH i rH pożywki.

Obserwacje wykazały, co następuje: w kulturach wietrzonych najlepiej rozwijały się rośliny na pełnej dawce cytrynianu żelazowego, nieco mniejsze były na pełnej dawce FeCl_3 , kultury z $1/10 \text{ FeCl}_3$ były wprawdzie duże, ale lekko chlorotyczne, najgorzej zaś rozwijały się rośliny z $1/10$ cytrynianu, były one małe i chlorotyczne. W kulturach nie wietrzonych najlepiej rozwijały się rośliny z pełną dawką chlorku żelazowego — były one podobne do roślin wietrzonych z $1/10$ cytrynianu. Najgorzej natomiast wyglądały rośliny z dawką $1/10$ cytrynianu; pozostałe miały wygląd pośredni. We wszystkich jednak kulturach nie wietrzonych rośliny rozwijały się źle i miały wygląd chorowity. Wyniki te dość dobrze ilustruje tabela 5.

Oznaczeń pH i rH nie podano, ponieważ nie można wysnuć z nich konkretnych wniosków.

T a b e l a 5

Sucha masa pomidorów 4 roślin (z 1 słoja) w mg
 La matière deséchée de tomates (4 plantes d' un pot)

	Ferrum chloratum	$\frac{1}{10}$ Ferrum chloratum	Ferrum citricum oxydatum	$\frac{1}{10}$ Ferrum. citr. oxyd.
Kultury wietrzone Cultures aérées	1082 $\pm$ 170	1380 $\pm$ 178	1874 $\pm$ 152	882 $\pm$ 49
Kultury nie wietrzone Cult. non aérées	622 $\pm$ 96	180 $\pm$ 22	316 $\pm$ 32	138 $\pm$ 13

Identyczne doświadczenie przeprowadzono na gryce, roślinie podobnie żelazolubnej jak pomidory.

W kulturach wietrzonych różnice indywidualne były bardzo duże, tak że nie można było osądzić, która dawka i forma żelaza jest najodpowiedniejsza. W kulturach nie wietrzonych najlepiej wyglądały rośliny na pełnej dawce cytrynianu, najgorzej na $\frac{1}{10}$ chlorku.

T a b e l a 6

Sucha masa gryki 4 roślin (z 1 słoja) w mg
 La matière deséchée de *Fagopyrum esculentum* (4 plantes d' un pot)

	Ferrum chloratum	$\frac{1}{10}$ Ferrum chloratum	Ferrum citricum oxydatum	$\frac{1}{10}$ Ferrum citr. oxyd.
Kultury wietrzone Cultures aérées	405 $\pm$ 79	361 $\pm$ 61	324 $\pm$ 58	487 $\pm$ 67
Kultury nie wietrzone Cult. non aérées	145 $\pm$ 15	126 $\pm$ 7	208 $\pm$ 11	179 $\pm$ 14

Oba doświadczenia wegetacyjne wykazują, iż żelazo nie kompensuje niedostatku tlenowego w pożywce. Jeśli zestawimy ze sobą wyniki jednakowych kombinacji w kulturach wietrzonych i nie wietrzonych (np. kultury z pełną dawką cytrynianu wietrzone i nie wietrzone), otrzymamy duże różnice na korzyść kultur wietrzonych. Nie ma zatem analogii pomiędzy działaniem próchnicy i żelaza. Należy jednak podkreślić, że tego rodzaju porównanie jest nieściśle, a to dlatego, że próchnicę można w kulturach wietrzonych wykluczyć bez szkody dla rośliny, natomiast żelaza usunąć nie można. Najważniejszym faktem wykazany przez te doświadczenia jest to, że badane rośliny nie mogą rosnąć normalnie w kulturach nie wietrzonych, także i w obecności optymalnej dawki żelaza, podanego w formie nie ulegającej wytrąceniu przez fosforany, utrzymującego się w roztworze pomimo niemieszania pożywki.

II. AZOT

Doświadczenie VII. Z kolei rozważyliśmy możliwość kompensacji niedostatku tlenu, przy oddychaniu korzeni, przez utlenione związki azotu. W celu wyświetlenia tego zagadnienia przeprowadziliśmy doświadczenia nad oddychaniem korzeni kukurydzy i pomidorów w obecności azotanów i porównawczo w obecności soli amonowych.

T a b e l a 7

Kukurydza, po 2 rośliny w aparacie
Maïs, 2 plantes dans l'appareil

Roztwór zawierający: Solution avec:	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
NO ₃	1282	1119	974	151	3,95	3,75	2,95	0,5	1,31	7,39
NH ₄	976	816	1049	135	3,50	2,95	3,80	0,5	0,93	6,03
Przedział ufności L'intervalle de confiance	160		70							

Oznaczano oddychanie korzeni kukurydzy w aparatach Lundegardh'a stosując roztwór podstawowy o składzie: CaCl₂ — 0,047 g, KCl — 0,044 g, MgCl₂ × 6H₂O — 0,23 g, FeCl₃ — 0,011 g w 1 litrze wody destylowanej. Prócz tego w odpowiednich kombinacjach dodawano alternatywnie albo NH₄Cl — 0,069 g, albo NaNO₃ — 0,103 g na litr roztworu. Ułożono zatem następujące kombinacje:

A. Roztwór z dodatkiem 0,8 ml 3% H₂O₂ na litr

- a) z azotanem sodowym
- b) z chlorkiem amonowym.

B. Roztwór przyrządzony na wodzie świeżo przegotowanej

- a) z azotanem sodowym
- b) z chlorkiem amonowym.

pH roztworu ustalono na 6,5 lub 7,5 przy pomocy NaOH. Każdą kombinację przeprowadzono w 5 powtórzeniach. Kontrole, jak w poprzednio opisanych, podobnych doświadczeniach.

Doświadczenie VII przeprowadzono w temperaturze pokojowej, przy pH 7,5. Likwidacja nastąpiła w czwartym dniu. Wyniki przedstawia tabela 7.

Doświadczenie VIII. Następne doświadczenie z solami azotowymi przeprowadzono na pomidorach. Metodyka jak poprzednio. Likwidacja doświadczenia nastąpiła w czwartym dniu. pH pożywki wynosiło 7,5. Wyniki przedstawia tabela 8.

Tabela 8
Pomidory, po 3 rośliny w aparacie
Tomates, 3 plantes dans l'appareil

Roztwór zawierający: Solution avec:	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
NO ₃	525	450	964	119	7,95	5,85	14,6	1,55	0,54	3,77
NH ₄	365	100	1016	87	7,15	1,95	19,95	1,65	0,36	1,15
Przedział ufności L'intervalle de confiance	227		26							

Doświadczenie IX. W tabeli 9 zestawione są wyniki następnego doświadczenia z solami azotowymi na kukurydzy, ale przy pH 6,5. Likwidacja doświadczenia nastąpiła w czwartym dniu. Metodyka jak poprzednio.

Doświadczenie X. Wyniki doświadczenia dziesiątego na pomidorach zestawiono w tabeli 10. Doświadczenie to przeprowadzono podobnie jak poprzednie z solami azotowymi, jedynie zmianie uległo pH roztworu, które w tym doświadczeniu wynosiło 6,5.

Posługując się analizą statystyczną interpretujemy wyniki doświadczeń 7—10 w sposób następujący:

T a b e l a 9

Kukurydza, po 3 rośliny w aparacie
Maïs, 3 plantes dans l'appareil

Roztwór zawierający: Solution avec:	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
NO ₃	640	673	822	62	3,80	5,20	4,90	0,50	0,78	10,80
NH ₄	584	510	890	73	3,60	4,10	5,40	0,60	0,66	6,90
Przedział ufności L' intervalle de confiance	142		37							

T a b e l a 10

Pomidory, po 3 rośliny w aparacie
Tomates, 3 plantes dans l'appareil

Roztwór- zawierający: Solution avec:	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptés à un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
NO ₃	352	313	430	49	3,60	3,70	4,35	0,60	0,82	6,40
NH ₄	183	79	463	51	2,10	0,90	5,25	0,60	0,40	1,52
Przedział ufności L'intervalle de confiance	43		99							

Korzenie kukurydzy i pomidorów wydzielają przy oddychaniu więcej dwutlenku węgla w obecności azotanów aniżeli w obecności soli amonowych. Można zatem powiedzieć, że azotany wzmagają intensywność oddychania korzeni tych roślin. Efekt ten występuje tak przy dużej ilości tlenu w roztworze, jak też i przy niedostatku tlenu. Istotnych różnic przy pobieraniu tlenu w pożywkach azotanowych i amonowych nie stwierdzono.

Korzenie kukurydzy we wszystkich trzech doświadczeniach nie ujawniały spadku intensywności oddychania (wyrażającej się przez wydzielanie CO_2) w warunkach silnego ograniczenia ilości tlenu w roztworze (woda przegotowana). Natomiast pomidory w dwóch doświadczeniach wykazały, w tych warunkach, silny spadek intensywności oddychania, jednakże tylko w roztworach z solami amonowymi. W pożywce azotanowej, przy niedostatku tlenowym, intensywność oddychania korzeni pomidorów w ciągu trzech dni nie spadła w porównaniu z dobrymi warunkami tlenowymi. Wynika z tego, że azotany kompensowały niedostatek tlenu przy oddychaniu korzeni tych roślin. W związku z tym wynikiem podjęte zostały szersze badania porównawcze nad działaniem soli amonowych i azotanów na rośliny uprawne z uwzględnieniem aeracji podłoża. Badania te ogłoszone zostaną w tymże czasopiśmie przez J. Stabrowską.

III. SIARKA

Z uwagi na biologiczną redukcję siarczanów rozważono możliwość kompensacji niedostatku tlenu przy oddychaniu korzeni przez jony siarczanowe.

Doświadczenia XI i XII. Doświadczenie w celu rozstrzygnięcia tej kwestii przeprowadzono w ten sposób, że do aparatów Lundegardha użyto roztworu zasadniczego, identycznego jak poprzednio, z tym, że azot podano wyłącznie w formie amonowej, alternatywą zaś był siarczan i chlorek magnezu ($0,028 \text{ g MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ albo $0,0231 \text{ g MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$). pH ustalono na 6,5.

T a b e l a 11

Kukurydza, po 5 roślin w aparacie
Maïs, 5 plantes dans l'appareil

Roztwór zawierający: Solution avec:	Średnie z jednego aparatu Moyennes d'un appareil mol · 10 ⁻⁶				W przeliczeniu na 1 g suchej masy Recomptées a un g de la matière deséchée mol · 10 ⁻⁶				$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$	
	Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂		Wydzielony Dégagé CO ₂		Zużyty Consumé O ₂			
MgSO ₄ MgCl ₂	+ O ₂	- O ₂	+ O ₂	- O ₂	+ O ₂	- O ₂	+ O ₂	- O ₂	+ O ₂	- O ₂
	823	766	957	90	1,80	1,40	2,10	0,20	0,86	8,46
	818	824	1007	122	1,90	1,90	2,30	0,30	0,81	6,73
Przedział ufności L' intervalle de confiance	207		62							

Wyniki doświadczeń na kukurydzy i pomidorach przedstawiają tabele 11 i 12.

Intensywność oddychania korzeni kukurydzy i w tym doświadczeniu nie spadła przy niedostatku tlenu. Natomiast u pomidorów intensywność oddychania spadła wyraźnie przy niedostatku tlenu zarówno w obecności $MgCl_2$, jak też $MgSO_4$. Siarczany więc nie wykazały własności biologicznego kompensowania niedostatku tlenu w procesie oddychania korzeni.

T a b e l a 12

Pomidory, po 4 rośliny w aparacie

Tomates, 4 plantes dans l'appareil

Roztwór zawierający: Solution avec:	Średnie z jednego aparatu Moyennes d' un appareil mol·10 ⁻⁶				CO ₂ O ₂	
	Wydzielony CO ₂ Dégagé CO ₂		Zużyty CO ₂ Consumé CO ₂			
	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂	+ O ₂	— O ₂
MgSO ₄	294	176	934	101	0,32	1,73
MgCl ₂	302	196	927	123	0,32	1,63
Przedział ufności L' intervalle de confiance	151		111			

Ubocznie można zauważyć, że w ogólności, niezależnie od warunków tlenowych, oddychanie było silniejsze przy chlorkach niż przy siarczanych.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Podkreślić należy, że wyniki oznaczeń pobierania tlenu mają w tej pracy jedynie znaczenie porównawcze — to samo odnosi się więc i do współczynnika oddechowego. Użyta przez nas metoda analityczna nie uprawnia do ustalenia ścisłych liczb bez względu na to co do zużycia tlenu. Dla rozstrzygnięcia rozpatrywanego przez nas zagadnienia ma to jednak znaczenie drugorzędne.

W opisanych wyżej doświadczeniach stwierdziliśmy, że korzenie używanych do doświadczeń trzech gatunków roślin różnie reagowały na ograniczenie ilości tlenu w pożywce. Najwrażliwsze okazały się pomidory — intensywność oddychania wyrażona przez wydzielanie dwutlenku węgla spadła u nich, w tych warunkach, najsilniej. Wyraźnie, choć nieco słabiej, reagowała pszenica. Natomiast kukurydza nie reagowała prawie zupełnie. Utrzymanie intensywności oddychania przez korzenie tej rośliny przez trzy doby w przegotowanej wodzie było zjawiskiem zastanawiającym. Ten brak reakcji korzeni kukurydzy na ograniczenie ilości tlenu w pożywce nie może być tłumaczony mniejszą ich masą, gdyż w do-

świadczeniach naszych sucha masa korzeni kukurydzy przewyższała suchą masę korzeni pszenicy. Nie może też być wynikiem słabszej przemiany materii, gdyż przeczą temu ilości wydzielonego dwutlenku węgla, które są wyższe, aniżeli w doświadczeniach z pomidorami. Pozostają następujące możliwości: 1) dyfuzja tlenu z części nadziemnych rośliny, 2) fermentacja w korzeniach (glikoliza), fermentacje bakteryjne w nasionach, względnie bakteryjny rozkład korzeni. Badania nad tym zagadnieniem stały się tematem osobnej pracy, której wyniki zostaną ogłoszone w tymże czasopiśmie.

W tych warunkach odpowiedzi na główne zagadnienie niniejszej pracy szukać można jedynie w reakcji pszenicy i pomidorów. Skoro bowiem chodzi o możliwość kompensacji niedostatku tlenu w oddychaniu korzeni, to niedostatek ten musi mieć swój wyraz w metabolizmie oddechowym. Ponieważ korzenie kukurydzy równie intensywnie oddychały w roztworze bogatym, jak i ubogim w tlen, więc nie wykazywały w ogóle jego niedostatku. Zatem przy rozpatrywaniu wyników pracy odnośnie kompensacji niedostatku tlenowego przez utlenione formy soli mineralnych, brać można pod uwagę jedynie dane, uzyskane w doświadczeniach z pszenicą i pomidorami. Te ostatnie gatunki roślin wykazywały zahamowanie procesu oddychania przy ograniczeniu ilości tlenu w roztworze, mogły więc służyć jako test przy badaniach nad kompensacją niedostatku tlenu.

Doświadczenia z żelazem dały nam wyniki negatywne. Obecność jonów utlenionej formy żelaza w roztworze nie zapobiegała spadkowi intensywności oddychania korzeni przy niedostatku tlenu.

Azotany natomiast niewątpliwie mogą podtrzymywać intensywność oddychania korzeni przy niedostatku tlenu. Porównanie oddychania korzeni pomidorów w wodzie przegotowanej w obecności azotanów, w zestawieniu z oddychaniem w obecności soli amonowych, wyraźnie o tym przekonuje. Równocześnie trzeba podkreślić, że w pożywce azotanowej wydzielanie dwutlenku węgla było większe aniżeli w amonowej nie tylko w złych warunkach tlenowych, ale także i w dobrych. Wynik ten jest niewątpliwym, przy czym trzeba podkreślić, że w naszych doświadczeniach jest on nawet fałszywie pomniejszony. Błąd wynika stąd, że pożywka azotanowa ulegała fizjologicznej alkalizacji, amonowa zaś zakwaszeniu. Zostało to stwierdzone przez pomiary pH, a błąd (nieduży zresztą) nie został w rachunku uwzględniony. Tak więc stwierdzona przez nas wyższa intensywność oddychania w obecności azotanów w rzeczywistości była jeszcze większa. Wzmożenie intensywności oddychania przez azotany, a w szczególności kompensację niedostatku tlenu, tłumaczymy sobie tym, że azotan stanowi donator tlenu, względnie akceptor wodoru odrywanych w procesie oddychania.

Tego rodzaju ujęcie zjawiska może posłużyć jako wyjaśnienie teoretyczne niemożności kompensowania przez utlenioną formę żelaza niedostatku tlenowego przy oddychaniu. Wprawdzie żelazo łatwo podlega utlenieniu i redukcji, może jednak być jedynie akceptorem elektronów, nie może natomiast przyłączyć protonu. Nie znamy połączeń żelaza z wodorem. Natomiast azot azotanowy ulegając redukcji przyłącza wodór, przechodząc w formę amonową. W ten sposób bierze zapewne udział w oddychaniu korzeni i w tym jego fizjologicznym działaniu upatrujemy wyższość saletry jako nawozu azotowego nad solami amonowymi.

Z punktu widzenia teoretycznego należałoby się spodziewać, że podobne właściwości utleniające jak azotany mieć będą siarczany. Wiemy bowiem, że anion siarczanowy ulega w roślinie redukcji do grupy sulfhydrylowej. Jednak doświadczenia nasze nie wykazały kompensacji niedostatku tlenu w oddychaniu korzeni przez siarczan magnezowy. Wyniku tego nie jesteśmy jednak pewni, przypuszczamy raczej, że utleniające działanie siarczanu jest znacznie mniej wyddatne (słabe pobieranie jonu siarczanowego!) niż azotanu i nasze metody nie były dostatecznie czułe dla wykrycia tego zjawiska.

WNIOSKI

- 1) Azotany kompensują częściowo niedostatek tlenu przy oddychaniu korzeni pomidorów.
- 2) Badania nad działaniem siarczanów nie wykazały działania podobnego do azotanów. Wyniku negatywnego nie uważamy jednak za pewny.
- 3) Żelazo trójwartościowe nie kompensuje niedostatku tlenu w procesie oddychania.
- 4) Spośród badanych trzech gatunków roślin: pomidorów, pszenicy i kukurydzy w procesie oddychania najbardziej wrażliwe na niedostatek tlenu są korzenie pomidorów, najmniej zaś kukurydzy.

STRESZCZENIE

Przeprowadzono oznaczenia wydzielania dwutlenku węgla i pobierania tlenu w procesie oddychania korzeni pszenicy, kukurydzy i pomidorów w roztworach zrównoważonych, stosując różnicowanie warunków tlenowych i badając wpływ żelaza trójwartościowego, azotanów oraz siarczanów jako utleniaczy. Równolegle przeprowadzono doświadczenia wegetacyjne w kulturach wodnych, badając wpływ różnych dawek chloru oraz cytrynianu żelaza na wegetację roślin przy różnych warunkach tlenowych.

Stwierdzono, że azotany wzmagają intensywność oddychania korzeni badanych roślin oraz kompensują w krótkotrwałych doświadczeniach nie-

dostatek tlenu przy oddychaniu korzeni pomidorów. Działania tego nie wykazywały utlenione połączenia żelaza ani też siarczany. O ile jednak wynik pozytywny w stosunku do azotanów i negatywny w stosunku do soli żelazowych autorowie uważają za pewny, o tyle w odniesieniu do siarczanów przyczyn wyniku negatywnego dopatrują się raczej w zbyt małej czułości stosowanych metod analitycznych i sądzą, że różnica w działaniu siarczanów i azotanów jest natury ilościowej, a nie jakościowej.

*Zakład Fizjologii Roślin WSR
we Wrocławiu*

(Wpłynęło dn. 7.3.57 r.)

RESUME

Les auteurs investigaient le dégagement du gaz carbonique et l'absorption de l'oxygène dans le procès de la respiration des racines du froment, de maïs et des tomates. Les investigations étaient conduites dans des solutions balancées, en appliquant une différenciation des conditions d'oxygène. On étudiait l'influence de Fe^{+++} , des nitrates et des sulfates selon leurs fonctions oxydateurs. Parallèlement on a exécuté des expériences avec les cultures dans l'eau pour examiner l'influence des divers doses de chlorure ferrique et de citrate ferrique sur la croissance des plantes dans des divers conditions d'oxygène.

Les investigations ont démontrées, que sous l'influence des nitrates, l'intensité de la respiration fût plus énergique; d'ailleurs les nitrates compensent l'insuffisance de l'oxygène pendant la respiration des racines des tomates, au moins dans des brefs expériences.

Par contre, ni les combinaisons oxydées de fer, ni les sulfates n'exécutaient pas une action pareille. Les auteurs considèrent, que le résultat positif quant aux nitrates et négatif quant aux sels du fer est expérimentalement prouvé, mais ils sont plutôt d'avis, que le résultat négatif dans le cas des sulfates provient d'un manque de précision des méthodes analytiques. Ils supposent, que la différence entre l'action des sulfates et des nitrates est plutôt quantitative que qualitative.

LITERATURA

- S. Gumiński i Z. Gumińska, 1953, *Acta Soc. Bot. Pol.* 22: 771—785.
S. Gumiński, W. Czerwiński, E. Unger, A. Bacowa, 1955, *Acta Soc. Bot. Pol.* 24: 723—731.