Wpływ niektórych wielofenoli na asymilację i oddychanie moczarki kanadyjskiej *Elodea canadensis* i liści bożodrzewu *Ailanthus glandulosa*

The influence of some polyphenols on the photosynthesis and the respiration of Elodea canadensis and of leaves of Ailanthus glandulosa

E. UNGER

Wpływ wielofenoli na metabolizm roślin był dotychczas badany jedynie ubocznie, przy okazji badań nad oksydazami fenolowymi (np. prace Baker i Nelson 1943, Bonner i Wildmann 1946, Lerner 1954), lub też wręcz snuto na ten temat jedynie luźne przypuszczenia (np. Arnon 1949).

Celem niniejszej pracy było stwierdzenie, czy różne wielofenole wywierają określony wpływ na asymilację i oddychanie roślin.

Przebadano wpływ sześciu wielofenoli, a mianowicie: kwasu galusowego, pirogalolu, floroglucyny, hydrochinonu, rezorcyny i pirokatechiny na dwie rośliny. Jako obiektów doświadczalnych użyto jednej rośliny wodnej, a mianowicie moczarki kanadyjskiej — *Elodea canadensis* — oraz liści jednego drzewa, bożodrzewu — *Ailanthus glandulosa*. Przy doborze tych właśnie roślin kierowano się dwoma względami:

1^o tym, czy zawierały enzymy zdolne do utleniania wielofenoli, tzn. jedną lub obie oksydazy fenolowe (tyrozynazę i lakazę);

2^o tym, czy miały odpowiednią budowę anatomiczną, ponieważ musiały się nadawać do infiltracji badanymi związkami.

METODYKA

A. Przy oznaczaniu oksydaz fenolowych

Wykrycia tyrozynazy i lakazy dokonywano w aparacie Warburga. Śledzono, czy w naczynkach maleje ciśnienie, tzn. czy zużywany jest tlen służący do enzymatycznego utleniania dodawanych do badanych tkanek fenoli. Jeżeli wzmożone zużycie tlenu utrzymywało się na stałym poziomie przez 30 min, wynik uznawano za dodatni.

Do 30-mililitrowych naczynek Warburga nalewano: 2 ml buforu fosforanowo-cytrynianowego o odpowiednim pH, 1 ml roztworu żelatyny (5 mg) i 4 ml wyciągu z badanych tkanek. Wyciąg otrzymywano w ten sposób, że materiał roślinny rozcierano w moździerzu, zalewano wodą w stosunku wagowym 1 : 2 i prędko odwirowywano. Przy badaniu obecności lakazy do bocznych ramion naczynek wprowadzano 1 ml (10 mg) roztworu hydrochinonu, a bufor miał pH równe 6,1 (Gregg i Miller 1940). Kiedy chodziło o stwierdzenie obecności tyrozynazy pH wynosiło 7,0, a w bocznych ramionach naczynek umieszczano 1 ml roztworu hydrochinonu i pirokatechiny (5,0 + 0,1 mg) wg Adamsa i Nelsona (1938) lub też, dla sprawdzenia, p-krezolu (4 mg) wg Willstaettera i Stolla (1939). Pomiarów dokonywano w temperaturze około 18°C, gdyż chodziło tylko o jakościowe, a nie ilościowe stwierdzenie obecności obu enzymów.

B. Przy badaniu przemiany gazowej liści bożodrzewu

Liść bożodrzewu jest liściem złożonym o dużych rozmiarach, dlatego do doświadczeń używano jedynie jego odcinków. Choć stwierdzono przed rozpoczęciem właściwych pomiarów, że użycie szczytowej, środkowej, czy dolnej części liścia złożonego nie daje uchwytnych różnic, jednak zawsze starano się dobrać obiekty doświadczalne tak, aby jeżeli nie wszystkie, to przynajmniej parami kontrolny i infiltrowany odcinek pochodziły z analogicznej części liścia. Liśnie zrywano tuż przed rozpoczęciem doświadczenia dobierając takie, które były mniej więcej jednakowe co do wieku i wielkości. W zależności od wielkości liścia złożonego, a więc i listków, używano odcinków z 6, a rzadziej z 4 listkami. W jednym doświadczeniu używano zawsze odcinków liścia o tej samej świeżej masie.

Pomiarów asymilacji i oddychania dokonywano w ten sposób, że porównywano intensywność badanego procesu w liściach infiltrowanych daną substancją i w liściach kontrolnych, nie infiltrowanych. Do infiltracji użyto: kwasu galusowego, pirogalolu, floroglucyny, hydrochinonu i rezorcyny w stężeniach od 0,0005 do 0,05 g na 100 ml wody. W doświadczeniach wstępnych sprawdzono, że infiltracja czystą wodą nie wywiera wpływu na asymilację i oddychanie liścia zgodnie z tym co podaje M o t h e s (1933).

Infiltrację przeprowadzono metodą podaną przez M o t h e s a (1933) zanurzając wszystkie liście przeznaczone do danego doświadczenia równocześnie w odpowiednim roztworze w eksykatorze próżniowym. Po prędkim usunięciu powietrza znad roztworu (przy pomocy pompy olejowej) przez około 10 min powoli doprowadzano ciśnienie do normalnej wysokości. Prawdliwość infiltracji można było poznać po tym, że cały liść, na skutek wypełnienia przestworów międzykomórkowych płynem, stawał się jednolicie ciemnozielony. Jeżeli na ciemnym tle liścia widoczne były

jasne plamy świadczące o tym, że dane miejsca nie zostały zainfiltrowane, zabieg powtarzano. Całkowite odparowanie wody z przestworów międzykomórkowych po infiltracji można było, oprócz sprawdzenia wagi (wg M o t h e s a 1933), poznać i po tym, że liść na całej swojej powierzchni wracał do normalnego, jasnego zabarwienia.

Doświadczenie przeprowadzano w ten sposób, że badano równocześnie najpierw 3 kontrolne odcinki liścia, a następnie w tych samych aparatach trzy infiltrowane, bezpośrednio po wyparowaniu z ich przestrzeni międzykomórkowych wody infiltracyjnej.

Pomiarów asymilacji dokonywano naświetlając naczynia z zawieszonymi w nich odcinkami liści 8 rurami jarzeniowymi od góry i od tyłu. Schemat przedstawiono na fot. 2. Ten rodzaj oświetlenia wybrano ze względu na to, że w tych warunkach oświetlenie wszystkich aparatów mogło być identyczne, a także dlatego, że oświetlenie jarzeniowe nie ogrzewa powietrza tak bardzo jak żarowe. Aby choć częściowo zniwelować podwyższenie temperatury powietrza przez lampy, chłodzono powietrze otaczające aparaty wentylatorami. Temperatura wewnątrz aparatów nie podnosiła się nigdy powyżej 25—27°C.

Pomiarów oddychania dokonywano w ten sposób, że aparaty umieszczano w osłonach z czarnej folii igelitowej, z niewielkimi otworami, dopasowanymi do wężyków, wlotowego i wylotowego. Temperatura w aparatach przy tych doświadczeniach była zależna od temperatury powietrza w pracowni.

W celu uniknięcia błędu spowodowanego działaniem na liść światła rozproszonego przed rozpoczęciem naświetlania (w przypadku asymilacji), i przed umieszczeniem w osłonie (w przypadku oddychania), nie brano przy podawaniu wyników pod uwagę pierwszego pomiaru. Pomiar ten z reguły odbiega nieco od pozostałych.

Do pomiarów przemiany gazowej w liściach opracowano własną modyfikację metody przepływu opierając się na:

- a) metodach przepływu podanych przez S t o c k e r a (1942) i S c h r ö d e r a (1926);
- b) metodzie pomiaru w przestrzeni zamkniętej podanej przez L u n d e g a r d h a (tamże);
- c) metodzie G o d l e w s k i e g o (1882).

Badany odcinek liścia umieszczano w komorach pomiarowych, zbudowanych tak, jak aparaty Godlewskiego, o pojemności 2 l (ryc. 1). Liść zawieszano na haczyku, będącym równocześnie rurką wylotową. Rurkę wlotową przedłużano wężykiem gumowym tak, że sięgała prawie że do dna naczynia. Wylot jej znajdował się poniżej krawędzi zawieszonego w aparacie liścia, jednak nie dosięgł wody, znajdującej się zawsze na

dnie naczynia. Woda ta sprawiała, że atmosfera w aparacie była zawsze nasycona parą wodną.

Do aparatów doprowadzano przy pomocy węży gumowych powietrze o istniejącym aktualnie w pracowni stężeniu dwutlenku węgla. Początki węży wlotowych wszystkich trzech aparatów, w których równocześnie dokonywano pomiarów, umieszczane były w jednym punkcie tak, że skład powietrza przepływającego przez wszystkie aparaty był identyczny.

Rurka wylotowa każdego aparatu połączona była z dolną częścią kolumny absorpcyjnej wypełnionej kulkami szklanymi. Górną część ko-

Ryc. 1. Aparat pomiarowy: 1 — rurka wlotowa;
2 — rurka wylotowa zakończona haczykiem
Measuring apparatus: 1 — inlet tubule, 2 — ex-
haust tubule ended in a hooklet

lumny łączono z 5-litrową butlą, służącą jako pompa ssąca, powodującą przepływ powietrza przez cały układ. Ilość przepływającego powietrza określano zbierając wodę wypływającą z respiratora (tzn. tej właśnie butli wypełnionej wodą) do cylindra miarowego. Jeden taki układ przedstawiono schematycznie na ryc. 2. Szybkość przepływu powietrza regulowano, zmieniając przy pomocy zacisku szybkość wpływu wody z butli.

Do każdej kolumny wlewano z automatycznej pipety sporządzonej wg Stockera (1942) tuż przed rozpoczęciem pomiaru 10 ml około 0,04 n wody barytovej o określonym mianie. Do tego roztworu dodana była fenoltaleina oraz, dla zmniejszenia napięcia powierzchniowego, alkohol butylowy w ilości takiej, że roztwór zawierał go 0,02%.

Oznaczenia ilości związanego w kolumnach absorpcyjnych dwutlenku węgla dokonywano miareczkując 0,04 n kwasem solnym wypuszczoną z kolumny absorpcyjnej wodę barytową razem z użytą do przemywania wodą. Do przemywania używano 50 ml zubożonej wobec fenoltaleiny wody destylowanej, którą, dla dokładniejszego oczyszczenia kolumny, dzielono na kilka porcji.

Przez jeden opisany wyżej układ przepuszczano jednorazowo 2 litry powietrza w ciągu 12 min. Ten czas i prędkość przepływu ustalono w doświadczeniach wstępnych jako optymalne dla używanych odcinków liścia. Ponieważ w doświadczeniach posługiwano się dwoma zestawami składającymi się każdy z trzech kolumn absorpcyjnych, trzech respiratorów i trzech cylindrów miarowych, pomiary przeprowadzano w ciągu 72 minut

praktycznie rzecz biorąc w sposób ciągły. Przerwa, jaką trzeba było zrobić co 12 min, aby przełączyć wężyki wylotowe komór pomiarowych do drugiego kompletu kolumn i włączyć drugie respiratory, nie trwała dłużej niż 30 sek.

Przeprowadzone w ten sposób pomiary nie określały bezpośrednio intensywności asymilacji bądź też oddychania liści, lecz mówiły jedynie o ilości dwutlenku węgla opuszczającego komory pomiarowe. W przypadku asymilacji mierzono więc tę część CO_2 dostarczonego z prądem powietrza, która nie została przyswojona przez liście. Natomiast przy po-

Ryc. 2. Schemat zestawu do pomiarów asymilacji liści. A — aparat pomiarowy; K — kolumna absorpcyjna, R — respirator, C — cylinder marowy, J — lampy

Arrangement scheme for measuring leaves photosynthesis A — measuring apparatus; K — absorbing column; R — respirator; C — graduated cylinder; J — lamps

miarach oddychania w kolumnach absorbował się nie tylko CO_2 wydzielony przez oddychający liść, ale także i ten, który był zawarty w powietrzu przepływającym przez aparat. Porównywano w ten sposób względną intensywność przemiany gazowej liści infiltrowanych i kontrolnych.

C. Przy badaniu przemiany gazowej moczarki

Pomiary asymilacji przeprowadzono na pojedynczych gałązkach moczarki, których wielkość w jednym doświadczeniu była zawsze jednakowa, a pomiary oddychania na kilku gałązkach, o łącznej świeżej masie 3 g. Doświadczenia przeprowadzano równocześnie w 6 powtórzeniach dla gałązek infiltrowanych i w tyluż kontrolnych, zanurzonych w odstalej wodociągowej.

Wielofenole wprowadzano do gałązek moczarki kanadyjskiej przez moczenie w odpowiednim roztworze, a nie przez infiltrację próżniową.

Taką moczarkę określa się w dalszym ciągu pracy jako infiltrowaną. Zabieg różni się wprawdzie od stosowanego do liści bożodrzewu, ale prowadzi tak samo do wprowadzenia pewnej ilości badanej substancji do wnętrza rośliny, co jest istotą infiltracji. Stosowano następujące wielofenole: kwas galusowy, pirogaloł, floroglucynę, hydrochinon, rezorycynę i pirokatechinę. Stężeń użyto nieco wyższych niż do infiltracji próżniowej, a mianowicie od 0,01 do 0,1 g na 100 ml wody, gdyż założono, że proste moczenie prowadzi do wprowadzenia mniejszych ilości roztworu zewnętrznego do rośliny niż infiltracja próżniowa.

Przy pomiarach asymilacji infiltrowane gałązki moczarki były przez cały czas trwania doświadczenia zanurzone w odpowiednim roztworze. Przy pomiarach oddychania zanurzano je jedynie na 10 minut przed rozpoczęciem pomiarów. Spowodowane to zostało faktem, że do oznaczania intensywności oddychania moczarki trzeba było zastosować metodę Winklera nie nadającą się do pomiarów w roztworach wielofenoli. W doświadczeniach wstępnych stwierdzono, że wpływ substancji infiltrującej jest przy 10-minutowym moczeniu taki sam, jak przy dłuższym, a większy niż przy krótszym przeprowadzaniu tego zabiegu.

Przy pomiarach asymilacji badane rośliny oświetlano 6 rurami jarzeniowymi. Ich układ podano na schemacie na fot. 4. W czasie doświadczeń nad oddychaniem przykrywano osobno grupę roślin infiltrowanych i osobno kontrolnych osłonami z czarnej folii.

Przy badaniach przemiany gazowej u moczarki za miarę intensywności badanych procesów przyjęto wydzielony podczas asymilacji i pochłonięty w czasie oddychania tlen. Nie można tu było oczywiście zastosować do obydwu procesów identycznej metody, ponieważ asymilujące rośliny wydzielają tyle tlenu, że nie rozpuszcza się on w wodzie, ale pozostaje w postaci gazowej. Trzeba więc było dokonywać objętościowych pomiarów wydzielonego gazu. Natomiast ilość tlenu zużytego w procesie oddychania śledzono, mierząc, ile go pozostawiało w wodzie otaczającej badaną moczarkę.

Przy pomiarach asymilacji porównywano obojętność gazu wydzielonego przez gałązki moczarki zanurzone w badanym roztworze z innymi, zanurzonymi w wodzie wodociągowej. Według Górskiego (1929) gaz ten nie jest wprawdzie czystym tlenem, ale objętość jego jest wprost proporcjonalna do intensywności asymilacji. Dla uproszczenia w dalszym ciągu pracy gaz ten nazywać się będzie „tlenem“. Aby uniknąć ubocznego wpływu badanych związków, a mianowicie tego, że na skutek pewnego zakwaszenia roztworu fenolami roślina miała do dyspozycji większe ilości wolnego CO_2 , wodę dla kontrolnych roślin zakwaszano odpowiednio kwasem solnym. Doprowadzano ją do pH różniącego się o nie więcej jak 0,2 pH

od użytego roztworu wielofenolu. W doświadczeniach wstępnych stwierdzono, że taka różnica w stężeniu jonów wodorowych nie wpływa na intensywność asymilacji. Pomiarów stężenia jonów wodorowych dokonywano pH-metrem lampowym.

Pomiarów asymilacji dokonywano w wykalibrowanych rurkach kapilarnych. Rurki te u dołu miały rozszerzenie ułatwiające umieszczenie w nich badanych gałązek moczarki (ryc. 3). Gałązki wtykano do owych

Ryc. 3. Kapilarna kalibrowana rurka i akwarium szklane do pomiarów fotosyntezy *Elodea canadensis*
Calibrated capilar tubule and glass aquarium for measurements of *Elodea canadensis* photosynthesis

rozszerzeń świeżo przeciętą powierzchnią, a następnie wodę w rurce doprowadzano do podziałki zerowej. Intensywność asymilacji badano odczytując przez 2 godziny w odstępach 10 min objętość wydzielonego gazu. Całe urządzenie do pomiarów przedstawione jest schematycznie na ryc. 4. Sześć badanych równolegle gałązek moczarki umieszczano w małym akwarium szklanym oświetlanym z góry i z boków 6 rurami jarzeniowymi. Obok siebie umieszczano dwa takie naczynia. Po dwudziestu minutach oświetlania do jednego z tych dwóch akwariów dodawano tyle stężonego roztworu badanej substancji, żeby cały płyn uzyskał żądane stężenie i ostrożnie mieszano. Wodę w drugim akwarium odpowiednio zakwaszano.

Pomiary oddychania przeprowadzano w ten sposób, że określoną ilość gałązek moczarki umieszczano w zlewkach w 100 ml odstąlej wody wodociągowej o znanej zawartości tlenu. Gałązki kontrolne umieszczano tam bezpośrednio przed rozpoczęciem pomiarów, a infiltrowane, po wyjęciu z roztworu, w którym się moczyły i opłukaniu. Co 15 min przez 1,5 godz pobierano z każdej zlewki 25 ml wody i dolewano tyleż świeżej, tej samej,

której nalewano do zlewek na początku doświadczenia. Oczywiście, to dostarczenie co 15 min nowej porcji tlenu barano pod uwagę przy obliczaniu wyników. W pobranej próbce ilość rozpuszczonego w wodzie tlenu oznaczano znaną metodą Winklera, używając do miareczkowania 0,1 n $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Odsłonięcie zlewek w czasie pobierania próbek wody i dolewania świeżej trwało nie dłużej niż 60—90 sek. W czasie tego krótkiego (i niemożliwego do uniknięcia) wystawienia na działanie światła zważano na to, by bezpośrednie światło słoneczne nie miało do badanej moczarki dostępu. Czas moczenia w odpowiednim roztworze, optymalna ilość moczarki mierzona jej świeżą masą i objętość wody do niej dostosowana były oznaczone w licznych doświadczeniach wstępnych.

Ryc. 4. Schemat zestawu do pomiarów fotosyntezy *Elodea canadensis*: 1 — widok z przodu; 2 — widok z boku. L — lampy, R — rurki kalibrowane, A — akwaria szklane

Arrangement scheme for measuring *Elodea canadensis* photosynthesis: 1 — front view; 2 — side view. L — lamps, R — calibrated tubules, A — glass aquarium

D. Obliczenia statystyczne

Obliczeń statystycznych dla wszystkich doświadczeń dokonywano metodą serii niezależnych przy dwóch zmiennych; przyjmując jako zmienne rośliny infiltrowane i kontrolne.

OMÓWIENIE I WYNIKI POSZCZEGÓLNYCH DOŚWIADCZEŃ

Wielkości liści czy gałązek moczarki używanych do poszczególnych doświadczeń nie były jednakowe. Nie można więc wyników różnych doświadczeń porównywać co do ich wartości bezwzględnej, tym bardziej że oprócz wielkości badanych roślin także i warunki zewnętrzne nie były zawsze identyczne. Przy pomiarach przemiany gazowej liści między jed-

nym a drugim doświadczeniem temperatura i zawartość CO_2 w powietrzu mogły się zmienić. Przy badaniach nad moczarką zmiennymi były temperatura i ciśnienie atmosferyczne. Ponieważ jednak wpływ tych czynników na równoczesne pomiary przemiany gazowej roślin kontrolnych i infiltrowanych był identyczny, można go było pominąć. Porównywalnymi są jednak jedynie dane mówiące o procentowym wzmożeniu lub hamowaniu badanego procesu.

Najpierw przeprowadzano doświadczenia nad asymilacją dwutlenku węgla. Na liściach bożodrzewu wykonano je w miesiącach wrześniu i października, ale zawsze przed pierwszymi przymrozkami. Liście były jeszcze zupełnie zielone, a poszczególne listki trzymały się mocno osi głównej liścia złożonego. Dobierano takie stężenia infiltrujących wielofenoli, które by pozwoliły wykryć, o ile to byłoby możliwe, granicę między stymulującym i hamującym działaniem danego związku. Badania nad moczarką przeprowadzono na wiosnę. Tym razem dla wszystkich fenoli użyto tych samych stężeń.

Doświadczenia nad oddychaniem przeprowadzono w tych samych miesiącach następnych lat. Do badań użyto jedynie tych wielofenoli i w takich stężeniach, których wpływ na asymilację zbadano już poprzednio. Chodziło bowiem o stwierdzenie, czy zaobserwowane na świetle zmiany w intensywności pobierania CO_2 , bądź też wydzielanie gazu („tłenu“), wynikają rzeczywiście ze zmiany intensywności fotosyntezy. Mogły one, teoretycznie rzecz biorąc, być spowodowane zmianą intensywności nie asymilacji badanych roślin, lecz ich oddychania.

O rzeczywistym wpływie badanej substancji na asymilację można mówić dopiero po porównaniu jej działania na procesy zachodzące w ciemności i na świetle. O wzmożeniu można zawsze wnioskować, jeżeli obydwa procesy w roślinach infiltrowanych przebiegają bardziej intensywnie. Jeżeli natomiast obserwuje się spadek procesu zachodzącego na świetle, to dopiero porównanie go z zachodzącym w ciemności oddychaniem pozwala na wysnucie wniosków. Jeżeli wzrost intensywności oddychania jest większy niż spadek procesu zachodzącego na świetle, można stwierdzić, że asymilacja także jest wzmożona. Dzieje się tak, ponieważ różna ilość wydzielonego przez liście w procesie oddychania CO_2 może niewątpliwie wpływać na ilość tego gazu pobranego w czasie asymilacji z powietrza. Tak samo zużycie potrzebnego w czasie oddychania tlenu może wpłynąć na ilość wydzielonego przez asymilującą moczarkę „tłenu“.

Aby się przekonać, czy zaobserwowany dodatni wpływ wielofenoli na oddychanie badanych roślin może być spowodowany tym, że substancje infiltrujące służą jako substrat oddechowy, zastosowano jeszcze infiltrację glukozą w stężeniu najwyższym z używanych dla wielofenoli.

Wyniki otrzymane dla poszczególnych substancji przedstawiono w ta-

belach od 2 do 8. W każdej z nich zestawiono wpływ poszczególnych stężeń omawianego związku na obydwa badane procesy u obu roślin. W tabelach podano średnie z otrzymanych w doświadczeniach wyników, tzn. nie tylko średnie z 3, bądź też 6 powtórzeń, ale także z pomiarów wykonywanych w określonych odstępach czasu. Z danych opisu metodyki wynika, że dla liści są to więc średnie z 15 cyfr (3 powtórzenia $\times$ 5 pomiarów wykonywanych co 12 min), dla moczarki na świetle z 72 (6 powtórzeń $\times$ 12 pomiarów wykonywanych co 10 min), a w ciemności z 42 (6 powtórzeń $\times$ 7 pomiarów wykonywanych co 15 min).

Ponieważ większość doświadczeń przeprowadzano dwukrotnie, więc na ogół przy jednym stężeniu podane są dwa różne wyniki. Nie zawsze są one jednakowe. W kilku tabelach cyfry odnoszące się do obu powtórzeń jednego lub dwu najniższych stężeń zdają się świadczyć o wpływie skierowanym przeciwnie. Prawdopodobnie jest to spowodowane tym, że stężenia substancji infiltrujących są tak niskie, że nie odgrywają już określonej roli, a dane liczbowe zależne są od nie uchwyconych w doświadczeniu czynników wewnętrznych lub zewnętrznych. Pewne różnice dotyczące stężeń wyższych będą omówione przy odpowiednich tabelach.

Osobnego wyjaśnienia wymaga znajdująca się we wszystkich tabelach rubryka „% w odniesieniu do kontroli“. Mówi ona o procentowym wzmożeniu czy zahamowaniu badanego procesu w roślinach infiltrowanych w porównaniu z kontrolnymi. Biorąc pod uwagę mierzone wielkości można stwierdzić, że procent większy od 100 mówi o stymulacji przy obu pomiarach (na świetle i w ciemności) dla moczarki. Jednak dla liści bożodrzewu jest tak jedynie przy wydzielaniu CO_2 w ciemności. Odwrotna zależność ma miejsce przy pomiarach pobierania przez liście dwutlenku węgla na świetle, ponieważ przedmiotem pomiarów był nie wykorzystany przez liście, opuszczający aparaty CO_2 . O większym zużyciu, czyli stymulacji procesu asymilacji, świadczy więc tutaj mniejsza cyfra i idący za tym procent mniejszy od 100.

1. Oksydazy fenolowe

Przeprowadzone w aparacie Warburga jakościowe doświadczenia nad pobieraniem tlenu przez wyciągi z badanych roślin w obecności odpowiedniego fenolu (metodyka, str. 3) wykazały, że w liściach bożodrzewu obecne są tyrozynaza, utleniająca mono- i orto-dwufenole, oraz lakaza, utleniająca orto- i para-dwufenole. W gałązkach moczarki znajduje się jedynie tyrozynaza.

Aby przekonać się, czy enzymy te są czynne jako oksydazy końcowe przeprowadzono doświadczenia nad oddychaniem obydwu badanych roślin z zastosowaniem „dieca“ jako inhibitora. James i Garton (1952)

Tabela 1 — Table 1

Wpływ infiltracji „dieca” na oddychanie liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Eloдея canadensis*
 The influence of the infiltration with „dieca” on the respiration of leaves of *Ailanthus glandulosa*
 and twigs of *Eloдея canadensis*

Roślina Plant	Jednostki Units	Kontrolne Control	Infiltrowane Infiltrated	Przedział ufności Confidence coefficient	% w odniesie- niu do kont- roli % referred to the control
<i>Ailanthus glandulosa</i>	mg CO ₂	3,48	3,06	0,17	88
		2,49	2,27	0,17	91
<i>Eloдея canadensis</i>	ml O ₂	2,10	1,51	0,44	72

wykazali, że jest to najlepszy z szeregu proponowanych przez różnych autorów inhibitorów zarówno ze względu na swoją wybiórczość, jak też i na dobrą rozpuszczalność. Infiltrację inhibitorem przeprowadzono przy pomocy takiej samej metodyki jak przy infiltracji fenolami. Wyniki tych doświadczeń podano w tabeli 1.

Wyniki powyższe, świadczące o poważnym zahamowaniu oddychania, upoważniają do traktowania wykrytych enzymów jako oksydazy końcowe.

2. Kwas galusowy

Z tabeli 2 wynika, że kwas galusowy stymuluje zarówno oddychanie, jak i asymilację obu badanych roślin, bowiem wzmożenie oddychania jest wszędzie większe niż zahamowanie procesów zachodzących na świetle, o ile zahamowanie takie w ogóle zaistniało. Jedynym wyjątkiem jest wpływ najwyższego z użytych stężeń na liście. Zahamowanie pobierania CO₂ jest tu mniej więcej zrównoważone wzmożeniem oddychania i należy stwierdzić brak wpływu kwasu galusowego o stężeniu 0,1 g na 100 ml na asymilację liści bożodrzewu.

Z tabeli widać też, że wpływ kwasu galusowego na pobieranie CO₂ przez liście bożodrzewu przechodzi od słabego hamowania do coraz silniejszej stymulacji w miarę zmniejszania się jego stężenia. Trzeba tu jednak wziąć pod uwagę fakt, że kwas ten zawiera grupę karboksylową, która łatwo ulega odszczepieniu. Według Moyse'go i współpracowników (1958) grupy karboksylowe kwasów organicznych w pewnych warunkach mogą być źródłem dwutlenku węgla dla asymilujących organów rośliny. Można przypuścić, że przy większym stężeniu to źródło gra większą rolę i dlatego wzrost intensywności pobierania CO₂ ze spadkiem stężenia kwasu galusowego jest tylko pozorny, a w rzeczywistości intensywność ta się nie zmienia.

Tabela 2 — Table 2

Wpływ infiltracji kwasem galusowym na przemianę gazową liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Elodea canadensis*

The influence of the infiltration with gallic acid on the gas exchange of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Elodea canadensis*

Roślina Plant	Stężenie Concentr. g/100 ml	Na świetle — In light			W ciemności — In darkness		
		kont- rolne cont- rol	infil- rowane infil- rated	% w odnies. do kontroli % referred to the con.	kont- rolne cont- rol	infil- rowane infil- rated	% w odnies. do kontroli % referred to the con.
<i>Ailanthus glandulosa</i>	CO ₂ opuszczający aparaty w mg — CO ₂ leaving the apparatuses in mg						
	0,05	0,72 _(0,10)	0,79	110	1,60 _(0,04)	1,77 1,51 _(0,07)	111 99
	0,01	0,81 _(0,09)	0,72 0,57 _(0,07)	89 111	1,88 _(0,08)	2,26 1,91 _(0,11)	120 118
	0,005	1,11 _(0,04)	0,93 0,95 _(0,07)	84 68	1,88 _(0,07)	2,09 2,02 _(0,06)	111 101
	„tlen” wydzielany w ml „oxygen” given off in ml				tlen pobierany w ml oxygen taken up in ml		
	0,1	2,93 _(0,13)	2,31	79	2,59 _(0,48)	3,42 3,21 _(0,75)	132 119
	0,075	1,86 _(0,14)	2,29 1,72 _(0,33)	123 153	2,84 _(0,67)	3,62 3,15 _(0,76)	127 125
<i>Elodea canadensis</i>	0,05	1,95 _(0,28)	1,79	92	2,56 _(0,72)	3,32 3,67 _(0,86)	130 123
	0,01	1,46 _(0,15)	1,60	101	3,51 _(0,58)	4,10 2,82 _(0,62)	117 117

Uwaga: Liczba w nawiasie to współczynnik ufności odnoszący się do tej pary liczb, pod którymi się znajduje.

Note: The numbers in brackets are confidence coefficients relating to those two numbers under which they are placed

3. Pirogalol

Dla dwóch najwyższych stężeń używanych do infiltracji moczarki dane odnoszące się do oddychania nie mogą być przytoczone, ponieważ pirogalol, którym zainfiltrowano moczarkę, wydzielal się z niej w trakcie doświadczenia do wody, w której przeprowadzano pomiary. W takich warunkach, przy obecności pirogalolu w wodzie, pomiar zużytego tlenu był, jak to podano już w opisie metodyki, niemożliwy do przeprowadzenia.

I ten wielofenol stymuluje oddychanie i asymilację liści bożodrzewu i moczarki, tej ostatniej przynajmniej w stężeniu 0,025 g na 100 ml. Co do wyższych stężeń można jedynie snuć przypuszczenia opierając się na podobieństwie budowy chemicznej pirogalolu i kwasu galusowego, który i w wyższych stężeniach wzmagają obydwa badane procesy u moczarki. Tak więc można przypuścić, że pirogalol będzie stymulował asymilację moczarki we wszystkich stężeniach, z wyjątkiem może 0,075 g na 100 ml, bo hamowanie wydzielania „tlenu“ jest tu bardzo silne, natomiast oddychanie będzie wzmagane we wszystkich badanych koncentracjach.

Tabela 3 — Table 3

Wpływ infiltracji pirogalem na przemianę gazową liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Elodea canadensis*

The influence of the infiltration with pyrogallol on the gas exchange of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Elodea canadensis*

Roślina Plant	Stężenie Concentr. g/100 ml	Na świetle — In light			W ciemności — In darkness		
		kont- rolne	infil- tro- wane	% w odnies. do kontroli	kont- rolne	infil- tro- wane	% w odnies. do kontroli
		cont- rol	infiltrated	% ref. to the control	cont- rol	infiltrated	% ref. to the control
<i>Ailanthus glandulosa</i>	CO ₂ opuszczający aparaty w mg — CO ₂ leaving the apparatuses in mg						
	0,05	1,94 _(0,04)	1,84	94	2,49 _(0,04)	2,89	116
		1,03 _(0,05)	0,99	96	2,27 _(0,13)	3,19	140
	0,025	1,94 _(0,04)	1,79	93	2,08 _(0,06)	2,89	137
		1,79 _(0,06)	1,70	95	2,26 _(0,13)	2,74	121
	0,005	1,59 _(0,04)	1,65	103	2,94 _(0,08)	2,83	96
		1,52 _(0,07)	1,45	95	2,47 _(0,06)	2,52	102
<i>Elodea canadensis</i>	„tlen” wydzielany w ml „oxygen” given off in ml			tlen pobierany w ml oxygen taken up in ml			
	0,075	1,02 _(0,12)	0,59	58			
		1,27 _(0,14)	1,10	86			
	0,05	1,22 _(0,10)	1,04	85			
		1,82 _(0,12)	1,48	81			
	0,025	1,49 _(0,10)	1,01	68	2,99 _(0,53)	4,65	156
		1,71 _(0,09)	1,65	96	2,88 _(0,69)	3,85	134
	0,01	1,10 _(0,12)	1,16	105	3,60 _(0,58)	3,70	103
		1,26 _(0,16)	1,37	109	3,88 _(0,67)	3,77	97

Uwaga: Liczba w nawiasie to współczynnik ufności odnoszący się do tej pary liczb, pod którymi się znajduje.

Note: The numbers in brackets are confidence coefficients relating to those two numbers under which they are placed.

4. Floroglucyna

Z tabeli 4 widać, że floroglucyna w bardzo niskich stężeniach stymuluje oddychanie liści bożodrzewu, a określonego wpływu na wszystkie pozostałe badane procesy nie można z pewnością stwierdzić. Wyniki doświadczeń nie są jednoznaczne. Należy przy tym podkreślić, że jest to jedyny z użytych wielofenoli, którego wpływ jest widoczny nawet w tak wielkim rozcieńczeniu.

Brak wyraźnego wpływu na wydzielanie „tlenu“ przez moczarkę przy stężeniu 0,075 g na 100 ml można tłumaczyć różnicą pH. Wyjątkowo, przez niedopatrzenie, wynosiła ona 0,68 pH i w związku z tym rośliny kontrolne,

Tabela 4 — Table 4

Wpływ infiltracji floroglucyną na przemianę gazową liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Eloдея canadensis*

The influence of the infiltration with phloroglucinol on the gas exchange of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Eloдея canadensis*

Roślina Plant	Stężenie Concentr. g/100 ml	Na świetle — In light			W ciemności — In darkness		
		kont- rolne	infil- rowane	% w odnies. do kontroli	kont- rolne	infil- rowane	% w odnies. do kontroli
		cont- rol	infil- trated	% refer. to the control	cont rol	infil- trated	% refer. to the control
<i>Ailanthus glandul.</i>	CO ₂ opuszczający aparaty w mg — CO ₂ leaving the apparatuses in mg						
	0,005	1,09 _(0,08)	1,40	128	1,81 _(0,05)	2,35	130
		1,01 _(0,12)	1,56	154	1,77 _(0,07)	2,50	141
	0,0005	1,37 _(0,07)	1,64	116	1,91 _(0,05)	2,00	105
		1,18 _(0,06)	1,16	99	2,84 _(0,07)	2,96	105
<i>Eloдея canadensis</i>	„tlen” wydzielany w ml "oxygene" given off in ml			tlen pobierany w ml oxygene taken up in ml			
	0,1	1,07 _(0,13)	0,90	85	2,79 _(0,56)	2,51	90
					2,40 _(0,69)	2,91	121
	0,075	0,49 _(0,07)	0,48	98	2,42 _(0,50)	2,91	120
					2,94 _(0,57)	2,68	91
	0,05	0,66 _(0,07)	0,53	80	2,70 _(0,48)	2,76	102
					2,23 _(0,59)	2,16	97
	0,025	0,70 _(0,06)	0,75	108	2,05 _(0,48)	2,40	117
					2,01 _(0,55)	2,05	102
	0,01	0,87 _(0,07)	0,63	73	2,83 _(0,54)	3,44	121
					3,35 _(0,50)	3,91	117

Uwaga: Liczba w nawiasie to współczynnik ufności odnoszący się do tej pary liczb, pod którymi się znajduje.

Note: The numbers in brackets are confidence coefficients relating to those two numbers under which they are placed

znajdujące się w roztworze o niższym stężeniu jonów wodorowych, miały stosunkowo gorsze warunki. Trudno wyjaśnić, dlaczego doświadczenie w stężeniu 0,025 g na 100 ml dało wyniki odbiegające od pozostałych. Ze względów technicznych nie można było doświadczenia powtórzyć.

5. Hydrochinon

Podobnie jak przy infiltracji pirogałolem i tutaj brak jest danych dla pobierania tlenu przez moczarkę pod wpływem wyższych stężeń hydrochinonu, ponieważ wydzielał się z zainfiltrowanych nim gałązek moczarki.

Tabela 5 — Table 5

Wpływ infiltracji hydrochinonem na przemianę gazową liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Elodea canadensis*

The influence of the infiltration with quinol on the gas exchange of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Elodea canadensis*

Roślina Plant	Stężenie Concentr. g/100 ml	Na świetle — In light			W ciemności — In darkness		
		kont- rolne cont- rol	infiltr- rowane infiltrated	% w odnies. do kontroli % refer. to the control	kont- rolne cont- rol	infiltr- rowane infiltrated	% w odnies. do kontroli % refer. to the control
<i>Ailanthus glandulosa</i>	CO ₂ opuszczający aparaty w mg — CO ₂ leaving the apparatuses in mg						
	0,05	0,60 _(0,06)	0,83	137	2,36 _(0,09)	2,42 1,69 _(0,05)	103 102
	0,005	0,60 _(0,05)	0,60	100	2,50 _(0,09)	3,32	133
		0,61 _(0,08)	0,56	95	2,04 _(0,14)	3,08	151
	0,0025	0,65 _(0,06)	0,63	97	2,34 _(0,06)	2,84 1,74 _(0,07)	121 118
<i>Elodea canadensis</i>	„tlen” wydzielany w ml “oxygene” given off in ml			tlen pobierany w ml oxygene taken up in ml			
	0,1	1,03 _(0,08)	0,91	88			
		0,75 _(0,07)	0,71	95			
	0,075	1,06 _(0,13)	0,90	85			
		1,10 _(0,13)	0,57	52			
	0,05	0,79 _(0,08)	0,65	82			
		1,31 _(0,16)	0,95	72			
	0,025	1,03 _(0,11)	0,71	69			
		1,10 _(0,09)	1,02	92			
	0,01	1,12 _(0,15)	1,29	116	2,96 _(0,48)	3,84	130
		1,04 _(0,12)	1,06	102	2,66 _(0,66)	2,79	105

Uwaga: Liczba w nawiasie to współczynnik ufności odnoszący się do tej pary liczb, pod którymi się znajduje.

Note: The numbers in brackets are confidence coefficients relating to those two numbers under which they are placed.

Hydrochinon w niższych stężeniach stymuluje zarówno oddychanie, jak i asymilację liści. Można przypuścić, że także najwyższe stężenie wzmagą oddychanie, ale wpływ ten zostaje zrównoważony przez wpływ hamujący, który należy przypisać zbyt dużemu już stężeniu przekraczającemu nasycenie (Mason 1955). W efekcie przeciwnie skierowane stymulacja i hamowanie dają obserwowany w doświadczeniu wynik mówiący o braku wpływu na intensywność oddychania. Wyraźny jest hamujący wpływ, jaki to stężenie hydrochinonu wywiera na asymilację liści. Co do wpływu tego wielofenolu na moczarkę to wiadomo jedynie, że stężenie 0,01 g na 100 ml stymuluje obydwa badane procesy. Braku danych dla oddychania pod wpływem wyższych stężeń nie można zastąpić rozważa-

Tabela 6 — Table 6

Wpływ infiltracji rezorcyną na przemianę gazową liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Elodea canadensis*

The influence of the infiltration with resorcinol on the gas exchange of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Elodea canadensis*

Roślina Plant	Stężenie Concentr. g/100 ml	Na świetle — In light			W ciemności — In darkness		
		kont- rolne	infil- rowane	% w odnies. do kontroli	kont- rolne	infil- rowane	% w odnies. do kontroli
		cont- rol	infil- trated	% refer. to the control	cont- rol	infil- trated	% refer. to the control
<i>Ailanthus glandul.</i>	CO ₂ opuszczający aparaty w mg — CO ₂ leaving the apparatuses in mg						
	0,025	1,57(0,04)	1,51	96	2,14(0,07)	2,54	117
		1,47(0,06)	1,39	94	1,76(0,10)	2,05	116
	0,005	1,16(0,09)	1,12	96	2,12(0,05)	2,11	100
		1,66(0,12)	1,65	100	1,49(0,09)	1,41	95
<i>Elodea canadensis</i>	„tlen” wydzielany w ml “oxygene” given off in ml			tlen pobierany w ml oxygene taken up in ml			
	0,1	0,73(0,09)	0,60	83	3,15(0,48)	3,64	115
		0,71(0,15)	0,61	87	1,80(0,51)	2,51	140
	0,075	0,95(0,06)	0,83	87	3,79(0,55)	3,53	93
		0,67(0,09)	0,77	115	4,31(0,77)	3,98	92
	0,05	0,90(0,08)	0,77	86	3,70(0,55)	4,21	114
		0,77(0,09)	0,75	97	4,11(0,55)	4,35	106
	0,025	1,30(0,24)	1,04	77	3,86(0,80)	3,02	78
					3,63(0,68)	3,51	97
	0,01	0,92(0,09)	0,79	86	1,72(0,59)	1,87	108
					3,98(0,71)	3,58	90

Uwaga: Liczba w nawiasie to współczynnik ufności odnoszący się do tej pary liczb, pod którymi się znajduje.

Note: The numbers in brackets are confidence coefficients relating to those two numbers under which they are placed.

niami teoretycznymi, tak jak to zrobiono dla pirogalolu, gdyż hydrochinon był jedynym użytym w doświadczeniu para-fenolem. Dlatego nie można też wyciągać wniosków dotyczących intensywności asymilacji moczarki infiltrowanej hydrochinonem.

6. Rezorcyna

Rezorcyna w odpowiednim stężeniu i w czasie nie przekraczającym 2 godzin od infiltracji wzmacnia więc oddychanie i asymilację liści bożo-drzewu, a w koncentracji 0,1 g na 100 ml także i moczarki. Niższe stężenia nie wywierają wpływu na oddychanie moczarki, ale hamują jej asymilację.

Z jednolitego obrazu spadku wydzielania się „tlenu“ z gałązek moczarki infiltrowanych rezorcyną wyłamuje się jedynie drugie powtórzenie stężenia 0,075 g na 100 ml. Udowodniony statystycznie wpływ dodatni w tym doświadczeniu spowodowany jest czynnikami, których nie udało się zidentyfikować. Widać jedynie wyraźną sprzeczność tego wyniku ze wszystkimi pozostałymi, co zdaje się wskazywać na to, że pomiaru tego nie należy brać pod uwagę.

Tabela 7 — Table 7

Wpływ infiltracji pirokatechiną na przemianę gazową gałązek *Elodea canadensis*
The influence of the infiltration with pyrocatechol on the gas exchange of twigs of *Elodea canadensis*

Stężenie Concentr. g/100 ml	Na świetle — In light			W ciemności — In darkness		
	kont- rolne control	infil- rowane infil- trated	% w odnies. do kontroli % refer. ot the control	kont- rolne control	infil- rowane infiltrated	% w odnies. do kontroli % refer. to the control
	„tlen” wydzielany w ml “oxygene” given off in ml			tlen pobierany w ml oxygene taken up in ml		
0,1	0,71 _(0,06) 0,40		57	3,95 _(0,47) 4,00	102	
				1,89 _(0,51) 2,39	127	
0,075	1,16 _(0,09) 0,42		36	2,09 _(0,62) 3,01	144	
				2,34 _(0,52) 2,85	121	
0,05	0,45 _(0,07) 0,34		75	2,77 _(0,50) 3,07	111	
				2,27 _(0,56) 2,81	124	
0,025	0,78 _(0,09) 0,54		70	2,36 _(0,45) 2,97	126	
				2,79 _(0,47) 3,46	124	
0,01	0,66 _(0,08) 0,50		76	3,25 _(0,50) 3,84	118	
				2,46 _(0,71) 3,30	134	

Uwaga: Liczba w nawiasie to współczynnik ufności odnoszący się do tej pary liczb, pod którymi się znajduje.

Note: The numbers in brackets are confidence coefficients relating to those two numbers under which they are placed.

7. Pirokatechina

Pirokatechinę zastosowano jedynie do infiltracji moczarki kanadyjskiej. Wzmaga ona oddychanie moczarki, a hamowanie asymilacji przez ten wielofenol jest tym silniejsze, im wyższe zastosowano stężenie. Stosunkowo najslabsze wzmożenie oddychania przez roztwór o stężeniu 0,1 g na 100 ml może być przypisane znanemu z literatury, szkodliwemu działaniu produktów utlenienia pirokatechiny na rośliny.

8. Glukoza

Wyniki podane w tabeli 8 wydają się świadczyć o tym, że nie można substancji infiltrującej traktować jako substratu oddechowego. Wpływ stężenia najwyższego z tych, jakie stosowano przy infiltracji wielofenolami praktycznie, nie zmienia intensywności oddychania badanych roślin.

Tabela 8 — Table 8

Wpływ infiltracji glukozą na oddychanie liści *Ailanthus glandulosa* i gałązek *Elodea canadensis*
The influence of the infiltration with glucose on the respiration of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Elodea canadensis*

Roślina Plant	Stężenie Concentr. g/100 ml	Jednostki Units	Kontrolne Control	Infiltrowane Infiltrated	Przedział ufności Confidence coeffic.	% w odnies do kontroli % refer. to the control
<i>Ailanthus glandulosa</i>	0,05	mg CO ₂	2,75	2,68	0,23	97
<i>Elodea canadensis</i>	0,1	ml O ₂	1,58	1,60	0,55	101

DYSKUSJA WYNIKÓW

Z danych doświadczalnych, podanych na str. 12 wynika, że w bożo-drzewie zawarte są obydwie enzymy utleniające wielofenole, a w moczarce tylko jeden — tyrozynaza. Enzymy te widocznie działają jako oksydazy końcowe, bo intensywność oddychania badanych obiektów spada po podziałaniu na nie inhibitorem hamującym aktywność oksydaz fenolowych.

Z drugiej strony, doświadczenia z glukozą wskazują na to, że raczej nie może być mowy o tym, by substancje, którymi infiltrowano badane

rośliny, służyły jako substrat oddechowy tak, jak to dla kwasu askorbino-
wego stwierdził H a c h n e y (1949). Gdyby użyte stężenia były tak wy-
sokie, że wielofenole przestałyby działać jako przenośniki wodoru, a prze-
szły do roli substratu oddechowego, to użyta w tym samym stężeniu glu-
koza tym bardziej powinna wykazać swój dodatni wpływ jako najlepszy
do spalania materiał. Tymczasem u obydwu roślin użyte stężenia glukozy
nie wpłynęły na intensywność oddychania w sposób, który byłby uchwyt-
ny przy używanych metodach, skąd wniosek, że są to koncentracje zbyt
niskie, by mogły działać jako substrat oddechowy.

Należałoby się więc spodziewać, że te z użytych wielofenoli, które
mają grupy wodorotlenowe w położeniu orto i para w przypadku bożo-
drzewu, bądź tylko orto w przypadku moczarki — będą działały stymu-
lująco na oddychanie. Infiltracja takimi związkami zwiększa bowiem
ilość drobin mogących być pośrednikami między oksydazami polifenolo-
wymi a innymi układami oksydo-redukcyjnymi. O ile więc lakaza i tyro-
zynaza są oksydazami końcowymi, a roślina ma do dyspozycji więcej
przenośników wodoru, to intensywność oddychania powinna wzrosnąć.

Z danych literatury nie można natomiast wysnuć żadnych przypuszczeń
co do roli, jaką wielofenole mogłyby odgrywać w procesie asymilacji dwu-
tlenku węgla.

Z otrzymanych danych doświadczalnych wynika, że na oddychanie
bożodrzewu dodatnio wpływają wszystkie użyte wielofenole, a na jego
asymilację kwas galusowy, pirogalol, hydrochinon i rezorcyna (ta ostatnia
przynajmniej w okresie początkowym, nie przekraczającym 2 godzin od
momentu infiltrowania).

Dla moczarki obraz przedstawia się nieco inaczej: oddychanie wzma-
gają jedynie kwas galusowy, pirogalol i pirokatechina (dla hydrochinonu
brak danych)*. Kwas galusowy i pirogalol stymulują także jej asymilację.
Wyraźne działanie hamujące na ten proces wywiera pirokatechina, a także
rezorcyna. Dla hydrochinonu znowu brak danych.

Z tego zestawienia widać, że oprócz rezultatów, które można było
przewidzieć teoretycznie, uzyskano i takie, których wyjaśnienia należy
dopiero szukać. Do pierwszej z tych dwu grup zaliczyć można wyniki od-
noszące się do zależności intensywności oddychania moczarki kanadyj-
skiej od infiltracji różnymi wielofenolami, a także niektóre wyniki, mówią-
ce o tej zależności dla liści bożodrzewu. Natomiast wyjaśnienia wymagają:
wpływ meta-fenoli na oddychanie liści, a także dodatnie i ujemne dzia-
łanie fenoli na proces asymilacji.

* Fakt, że tylko pirogalol i hydrochinon zostają wydzielone z infiltrowanych gałą-
zek, zdaje się świadczyć o tym, że pozostałe fenole zostają w roślinie w jakiś sposób
zaabsorbowane lub związane tak, że umieszczenie badanych gałązek w wodzie nie
powoduje wymycia substancji infiltrujących.

Rezorcyyna i floroglucyna stymulują jedynie oddychanie liści bożodrzewu, a nie wpływają na zmianę jego intensywności w moczarcie. Ponieważ stwierdzono, że te dwie rośliny różnią się m.in. tym, że tylko w bożodrzewie zawarta jest lakaza, nasuwają się dwie możliwości wytłumaczenia zaobserwowanego zjawiska. Albo, wbrew dotychczasowym danym, lakaza oprócz orto- i parafenoli utlenia także i te, które mają grupy —OH w położeniu meta, albo też w liściach bożodrzewu występuje jeszcze jakiś inny, nie znany dotychczas enzym, działający na związki o takim właśnie układzie grup wodorotlenowych. Które z tych dwu przypuszczeń jest prawdziwe, o tym rozstrzygnąć mogą dopiero dalsze, szczegółowe badania biochemiczne.

Zdecydowany brak wpływu na fotosyntezę roślin doświadczalnych stwierdzono jedynie dla floroglucyny. Wszystkie pozostałe wielofenole są powodem zmian w intensywności asymilacji CO_2 , choć nie zawsze jeden i ten sam fenol wpływa identycznie na obie rośliny. Pirokatechina, której działanie przebadano tylko na moczarcie kanadyjskiej, wyraźnie hamuje jej fotosyntezę. Im większego użyto stężenia, i im dłużej trwało działanie, tym większe obserwowano obniżenie intensywności wydzielania „tłenu“, znacznie większe niż takie, jakie można by przypisać wzmożonemu zużyciu O_2 w stymulowanym procesie oddychania. Widocznie więc na świetle przemiany pirokatechiny idą innym torem niż w ciemności. Należy chyba przypuścić, że pod wpływem światła pirokatechina nie zostaje, jako przenośnik wodoru, włączona w przemianę materii, ale zostaje utleniona (Bonner i Wildmann 1946 w ten sposób tłumaczą wpływ pirokatechiny na liście szpinaku, ale w ciemności). W takim przypadku powstały chinon zatruwa aparat asymilacyjny, powodując obniżenie jego wydajności. Część tlenu, zamiast zostać wydzieloną na zewnątrz, może zostać zużyta na utlenienie pirokatechiny i dlatego w doświadczeniu obserwuje się zahamowanie intensywności fotosyntezy mierzonej ilością wydzielonego „tlenu“. Zahamowanie to byłoby więc, przynajmniej częściowo, jedynie pozorne.

Wręcz odwrotnie działają kwas galusowy i pirogalol (dla moczarki działanie tego ostatniego nie jest pewne), a także przez krótki okres czasu hydrochinon i rezorcyyna (tylko na bożodrzew). Wzmożenie fotosyntezy, zwłaszcza pod wpływem kwasu galusowego u moczarki, jest bardzo znaczne i długotrwałe. Na tej podstawie nasuwa się wniosek, że wielofenole mogą zostać włączone nie tylko w proces oddychania, ale i asymilacji CO_2 . Należy tylko określić, w którym miejscu, w obecnie przyjętym schemacie fotosyntezy, mogłyby działać oksydazy fenolowe i wielofenole jako przenośniki wodoru. Wydaje się, że jedynie w procesie fosforylacji fotosyntetycznej reakcje takie mogłyby zachodzić. Mechanizm fosforylacji jest dotychczas jeszcze przedmiotem spekulacji myślowych (pisze o tym wy-

rażnie Lassota [1960]), wydaje się więc możliwe, że w ten niedokładnie poznany ciąg reakcji w pewnych warunkach może się włączyć także i wielofenol. Miejsce, w którym takie włączenie się mogłoby nastąpić, jest chyba, przy obecnym stanie wiedzy, bliżej nieokreślone. Brak na razie sprecyzowanych danych co do substancji biorących udział w procesie fosforylacji fotosyntetycznej, a co za tym idzie także co do ich potencjałów oksydo-redukcyjnych. Stąd i spekulacje co do ewentualnej roli wielofenoli są uniemożliwione. Warto może mieć na uwadze i ten fakt, że zarówno witamin K, jak i koenzym Q oraz chinon Q_{254} , a więc substancje bezsprzecznie biorące udział w fosforylacjach zachodzących w organizmie roślinnym (Chmielewska 1960), są 2-metylochinonami. Większość badaczy przyjmuje właśnie ugrupowanie chinoidowe tych związków jako podstawę ich funkcji enzymatycznej. Być może więc, niektóre z przebadanych wielofenoli poprzez te substancje włączają się w mechanizm fotosyntetyczny rośliny.

WNIOSKI

1. W liściach bożodrzewu (*Ailanthus glandulosa*) zawarte są obie oksydazy fenolowe, tyrozynaza i lakaza, a w gałązkach moczarki koadyzkiej (*Elodea canadensis*) — jedynie tyrozynaza.

2. Udowodniono zgodnie z przewidywaniami wzmożenie oddychania liści bożodrzewu infiltrowanych kwasem galusowym, pirogalolem i hydrochinonem. U moczarki proces ten był stymulowany przez kwas galusowy, pirokatechinę i, być może, także przez pirogalol.

3. Ponadto skonstatowano wzrost intensywności oddychania badanych liści pod wpływem meta-fenoli: floroglucyny i rezorcyny.

4. Stwierdzono też, że kwas galusowy, pirogalol, a przez okres około 2 godzin także hydrochinon i rezorcyna, wzmagają asymilację liści bożodrzewu. Dwa pierwsze fenole działają podobnie na moczarkę.

5. Pirokatechina i rezorcyna wyraźnie hamują asymilację moczarki.

Praca niniejsza była subsydiowana przez Komitet Botaniczny PAN.

Kierownikowi Zakładu Fizjologii Roślin WSR we Wrocławiu, prof. drowi Stefanowi Gumińskiemu składam serdeczne podziękowanie za cenną pomoc i rady udzielane mi w toku wykonywania niniejszej pracy.

Zakład Fizjologii Roślin
WSR we Wrocławiu

(Wpłynęło: dn. 10.VI.1961 r.)

SUMMARY

The aim of this work was to confirm if the polyphenols affect the intensity of the photosynthesis and the respiration of leaves of *Ailanthus glandulosa* and twigs of *Elodea canadensis*.

Measurements of the intensivity of gaseous exchanges were achieved in regular intervals, every ten minutes, during 1,5—2 hours. The run of the observed processes at plants infiltrated by the studied substances and at the noninfiltrated controls, were compared.

A stream method was applied for the leaves and the amounts of CO_2 taken up in the light and given off in the darkness were measured. For the *Elodea canadensis* the gas bulk given off during the photosynthesis was measured in the light; in the darkness the amount of O_2 in the water surrounding the plants was investigated by the Winkler's method. For the research there was used the following polyphenols: gallic acid, pyrogallol, phloroglucinol, quinol, resorcinol and pyrocatechol in concentrations from 0,001 to 0,1 mg/100 ml.

Since in the leaves of *Ailanthus glandulosa* the presence of both, tirosinase and laccase were confirmed and in the *Elodea canadensis* only the tirosinase it could be foreseen, that o- and p- phenols in the first plant, and only o-phenols in the second have to stimulate the respiration. It was confirmed, however, that besides those comopunds the leaves respiration was also stimulated by m-phenols.

The studied compounds have also influence on the photosynthesis. Pyrogallol and gallic acid stimulate the photosynthesis of both studied plants. On the leaves the same influence is exerted by quinol and resorcinol. However resorcinol and pyrocatechol repress distinctly the photosynthesis of *Elodea canadensis*.

The explanation of the reason of such effect of studied compounds needs special biochemical research.

LITERATURA

- Adams M. H. i Nelson J. M.: 1938, J. Am. Chem. Soc. **60**, 2474.
 Arnon D. J.: 1949, Plant Physiol. **24**, 1.
 Baker M. S. i Nelson J. M.: 1943 J. Gen. Physiol. **26**, 269.
 Bonner I. i Wildman S. G.: 1946, Arch. Biochem. **10**, 497.
 Chmielewska I.: 1960, Postępy Biochemii **6**, 127.
 Godlewski E.: 1882, Pamiętnik A.U. t. VII, 101.
 Godlewski E.: 1882, Bot. Zeitung **803**.
 Górski F.: 1929, Acta Soc. Bot. Pol., **6**, 1.
 Gregg D. C. i Miller W. H.: 1940 J. Am. Chem. Soc. **62**, 1374.
 Hachney F. M.: 1949, Proc. Linnean Soc. N.S. Wales **73**, 439 cyt. wg Kaniuga Z.: 1958, Postępy Biochemii, **4**, 335.
 James W. O. i Garton N.: 1952 J. Exp. Bot. **3**, 310.
 Lassota Z.: 1960, Postępy Biochemii **6**, 145.
 Lerner N. H.: 1954, J. Exp. Bot. **5**, 79.
 Lundegardh H.: 1926 w Abderhalden: Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden Abt. XI, Teil 3, Urban u. Schwarzenberg Berlin u. Wien.
 Mason H. S.: 1955, Advanc. Enzymol. **16**, 105.
 Mothes K.: 1933, Planta **19**, 117.
 Moysse A., Capigny M. L., Dardart J. i Jolchine G.: 1959, Proc. of the IV Int. Congress of Biochem., Vol. XV, Section 11—2.
 Schroeder H.: 1926, w Abderhalden: Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden Abt. XI, Teil 3, Urban u. Schwarzenberg, Berlin u. Wien.
 Stocker O.: 1942, Pflanzenphysiologische Übungen, G. Fischer, Jena.
 Willstaetter R. i Stoll A.: 1939, Lieb. Ann. Chem. **430**, 269.