Nowa metoda jednoczesnego oznaczania transpiracji i absorpcji wody przez rośliny w kulturach wodnych. III

*A new method for simultaneous determination of transpiration
and absorption in water cultures. III*

J. TARŁOWSKI

WSTĘP

Badania bilansu wody prowadzonych na całych (nie pozbawionych korzeni) roślinach można znaleźć w literaturze niestety bardzo mało (Unger 1861, Vesque 1878, Montfort 1922, Lachenmeier 1932, Kramer 1937, Küster 1958). Wynika to z braku odpowiedniej metody badawczej (Meyer 1956). W ostatnich latach uwaga badaczy skierowana była na dalsze doskonalenie dotychczas stosowanych metod oznaczania samej transpiracji (Huber, Miller 1954, Andersson, Hertz, Rufelt 1954, Klesznin, Strogonow, Szulgin 1954, Karmanow, Pumpianskaja 1956 a i b, Koch 1957, Decker, Wetzel 1957) bądź też samej absorpcji (Rosene 1954, Küster 1956).

W poprzednich częściach pracy (Tarłowski 1955, 1956) opisano pierwsze próby opracowania metody jednoczesnego oznaczania transpiracji i absorpcji wody przez nie uszkodzone rośliny. Wstępne doświadczenia przeprowadzone początkowo na jednej, a następnie na czterech roślinach pozwoliły przypuszczać, że nowa metoda może znaleźć zastosowanie w fizjologicznych badaniach gospodarki wodnej roślin.

W następnych latach kontynuowano pracę nad dalszym udoskonaleniem metody oraz przeprowadzono szereg prób zarówno na obiektach martwych, jak i na roślinach w celu określenia błędów i przydatności metody.

W niniejszej pracy przedstawiono najważniejsze nowe ulepszenia i modyfikacje wprowadzone w toku badań oraz poddano szczegółowej analizie błąd metody w oparciu o wyniki prób modelowych. Wstępne doświadczenia przeprowadzone na roślinach zostaną omówione w następnej pracy.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zasada metody

Zasadę metody opisano już w I cz. pracy (1955, str. 709—710). Chociaż podstawowe elementy aparatu nie uległy zmianie, tym niemniej w ciągu badań wprowadzono szereg istotnych modyfikacji i ulepszeń. Dlatego wydaje się celowe krótkie bodaj opisanie całego aparatu w nowym ujęciu.

Badana roślina przymocowana jest przy pomocy igielitowego korka zalanego warstwą masła kakaowego (5 mm) w kolbie A (ryc. 1) o pojem-

Ryc. 1. Schemat zestawu aparatu do jednoczesnego oznaczania transpiracji i absorpcji wody (Opis w tekście)

Schematic diagram of the apparatus for the simultaneous determination of transpiration and absorption of water. The details are explained in the Polish text

ności 100 ml zawierającej pożywkę. Powietrze, zawarte nad pożywką o ściśle określonej objętości, kontaktuje się poprzez cienką rurkę gumową z cylindrem B skalibrowanym w ten sposób, aby można było odczytywać ilość powietrza zawartego w nim nad cieczą. Woda zawarta w cylindrze B kontaktuje się poprzez boczny tubus i rurki z wodą zawartą w zlewce C. Powierzchnia wody zalana jest olejem parafinowym.

Kolba A i zlewka C stoją na szalkach dwóch wag. Na przeciwnych szalkach umieszczony jest analogiczny zestaw (bez rośliny) kompensujący wpływ temperatury na zmiany objętości i ciśnienia panujące w całym układzie (na ryc. 1 układ kompensujący — dla uproszczenia — pominięto).

Pomiar intensywności transpiracji odbywa się poprzez rejestrację na taśmie samopisu czasu spadania na szalkę wagi automatycznie zrzucanych odważników. Zrzut następuje w momencie, gdy roślina wytranspiruje 63,4 mg. Pomiar absorpcji odbywa się również wagowo. Na miejsce wody pobranej przez korzenie rośliny ciśnienie atmosferyczne wtłacza z cylindra B równoważną ilość powietrza. Objętość wody pobranej odpowiada objętości wody wypartej ze zlewki C. Ubytki wody ze zlewki C rejestrowane są identycznie jak w przypadku transpiracji.

Szczegółowy opis poszczególnych elementów aparatury podano w cz. I (1955, str. 710—713) i w cz. II (1956, str. 401—403) niniejszej pracy. Poniżej omówione zostaną szczegółowo jedynie nowe nie opisane dotychczas elementy.

Najważniejsze nowe elementy aparatury

W dotychczas stosowanym układzie (p. cz. I, str. 711 i cz. II, str. 402) poważnym źródłem błędów był natychmiastowy zrzut odważnika na szalkę wagi przy każdym nawet przypadkowym zwarciu styku zamykającego

Ryc. 2. Schemat układu opóźniającego (Opis w tekście)
Schematic diagram of the retarding system. The details are explained in the Polish text

obwód prądu. Zwarcie takie może nastąpić nie tylko podczas manipulacji związanych z obsługą aparatu, lecz również pod wpływem nieznacznego ruchu powietrza. Wadę tę usunięto przez zastosowanie elektronowego układu opóźniającego.

Elektronowy układ opóźniający. Zasada działania układu opóźniającego (ryc. 2) jest następująca: Napięcie sieci (220 V, 50 Hz) wyprostowane *a* i przefiltrowane *b* przyłożone jest poprzez uzwojenie przekaznika *c* do anody triody 6SN7 *d*. Potencjał ujemny *f* doprowadzony jest do siatki lampy poprzez opór *k*. Ujemny biegun napięcia zasilającego i katodę lampy dołączono do masy chassis.

Opóźnienie zadziałania uzyskano przez zastosowanie układu czasowego g, h, i . W omawianym układzie odblokowanie lampy następuje po upływie około jednej stałej czasu (3,4 sek.), tzn. dopiero po upływie około 3,4 sekundy od momentu zwarcia styków przy wadze przez lampę przepływnie prąd umożliwiający zadziałanie przekaźnika c , zwarcie pierwszej pary jego styków, czyli zamknięcie obwodu roboczego (zrzut odważnika i zapis na taśmie). Aby jednak natychmiast po zadziałaniu układ był gotowy do przyjęcia następnego impulsu, przekaźnik c zaopatrzony jest w drugą parę styków, zwierających się w ułamek sekundy po zwarcu pierwszej pary. Zwarcie drugiej pary powoduje natychmiastowe zatkanie lampy (prąd dopływający z baterii z pominięciem oporu k przeładowuje siatkę lampy do pierwotnego potencjału -60 V).

Stalość czasu opóźnienia polepszono przez przyłożenie do drugiego styku na wadze potencjału dodatniego (około $+24$ V) z dzielnika oporowego m . A zatem kondensator g musi ulec przeładowaniu z -60 do $+16$ V (na oporach i, h spadek napięcia wynosi około -8 V). Przy takim rozwiązaniu odblokowanie lampy następuje w stromej części krzywej, zwarcie styków przekaźnika jest praktycznie momentalne i występuje po upływie 3,4 sek.

We wszystkich doświadczeniach wykonanych w latach 1956 i 1957 stosowano styki opisane w II cz. pracy (1956, str. 402). Okazało się przy tym, że elastyczność sprężyn stykowych utrudnia trwale zwarcie niezbędne do zadziałania układu lampowego. Dlatego zastosowano styki rtęciowe.

Styki rtęciowe zwierane przez wagi. Styk wykonany z nierdzewnej stali (ryc. 1) przymocowany jest uchwytem z polichlorku winylu do szalki wagi. Krótsze ramię zwieracza styka się z powierzchnią rtęci w momencie, gdy strzałka wagi przechodzi przez punkt zerowy skali. Powierzchnia rtęci w naczynkach zalana jest 10 mm warstwą oleju parafinowego (dla wyeliminowania szkodliwego wpływu par rtęci na rośliny). Naczynka z rtęcią włączone są w obwód prądu sterującego potencjał siatki triody układu opóźniającego. Prąd przepływający przez styk wynosi około $5 \mu\text{A}$, a więc przy różnicy potencjałów 76 V (-60 V $+ 16$ V) iskrzenie styku nie zachodzi, a jego oksydacja jest wykluczona.

Warunki, w jakich przeprowadzano pomiary

Zgodnie z wnioskiem wysuniętym w II cz. pracy (str. 407) wszystkie próby i doświadczenia przeprowadzane były w kabinie doświadczalnej w kontrolowanych warunkach oświetlenia, temperatury i wilgotności powietrza.

Kabina doświadczalna. Kabina doświadczalna zainstalowana była w piwnicy. Rozmieszczenie aparatury przedstawia schematycznie ryc. 3. Pomieszczenie oświetlane było wyłącznie światłem żarowym (lampy 300 W zawieszono bezpośrednio nad roślinami — 50 cm nad

Ryc. 3. Schemat kabiny doświadczalnej. Widok z góry i z boku. (Opis w tekście)
Schematic diagram of the experimental chamber. Top and side views. The details
are explained in the Polish text

szalkami wagi). Podczas doświadczeń prowadzonych w ciemności przyrządy pomiarowe oświetlane były słabym światłem zielonym (żarówki 1,3 W zanurzone w roztworze zieleni świetlistej — światło docierające do roślin 1,5 luxa).

Temperaturę regulowano przy pomocy grzejników oporowych rozpiętych pod stołami, a wilgotność powietrza przy pomocy wentylatora tłoczącego powietrze przez filtr z bezwodnym CaCl_2 . Temperaturę mierzono z dokładnością do $0,1^\circ\text{C}$, wilgotność powietrza — według wskazań psychrometru Augusta (co 15 minut). Obsługa całej instalacji i przyrządów dokonywana była przy pomocy tablicy sterowniczej umieszczonej w kabine pomiarowej pomiędzy kamerami doświadczalnymi.

Analiza błędu metody

Przebieg badanych procesów notowany jest samoczynnie na taśmie. Z zapisów można wykreślić diagram (cz. I, str. 715—717) przedstawia-

jący intensywność transpiracji i absorpcji wody w ciągu doświadczenia. Aby ustalić wielkość błędu, jakim obarczone są uzyskane w ten sposób wyniki, poddano analizie wszystkie, zdaniem autora, możliwe źródła błędów wymienione poniżej.

1. Pomiar czasu.
2. Różnice w ciężarze odważników.
3. Błąd odczytu odcinka czasu między zrzutami kolejnych odważników.
4. Niezgodności w czasie pomiędzy momentem ubytku ciężaru na wadze (63,4 mg) a momentem zrzutu odważnika wynikającego z:
 - a. ewentualnych zaburzeń w pracy układu opóźniającego i bezwładności kotwic elektromagnesów wyrzutników,
 - b. elastyczności sprężyn stykowych,
 - c. bezwładności wagi, hamowanej przez rurki gumowe łączące kolby A i A_1 z cylindrami B i B_1 .
5. Różnice w ilości powietrza zamkniętego w układzie doświadczalnym z rośliną i w układzie kompensacyjnym.
6. Zmiany składu i ciśnienia powietrza zamkniętego w kolbie A i cylindrze B , zachodzące przede wszystkim wskutek oddychania korzeni badanych roślin.

1. W części II pracy opisano, w jaki sposób notowane są na taśmie zrzuty odważników oraz pięciominutowe odcinki czasu. Błąd mierzony przy najszybszym biegu taśmy (VII — 50 mm/min) nie przekracza 0,6 sek.

2. Różnice w ciężarze odważników nie przekraczają $\pm 20 \mu\text{g}$.

3. Wielkość błędu w odczycie odcinka czasu między zrzutami kolejnych odważników zależy od szybkości ruchu taśmy. We wszystkich doświadczeniach odcinki te mierzono z dokładnością do 0,5 mm. Długość ta odpowiada dla I biegu — 4,57 sek., a dla VIII — 0,6 sek. Oczywiście wartość tego błędu zależy od intensywności procesu i tak:

Intensywność procesu w mg/min	Błąd w % dla biegu	
	I	VIII
126,8	15,2	2,00
63,4	7,6	1,00
3,17	0,38	0,05

W doświadczeniach z roślinami intensywność procesów nie była nigdy większa niż 100 mg/min, a szybkość ruchu taśmy dobierano tak, aby błąd nie przekraczał 1—2%.

4. a. Błędy wynikające z bezwładności mechanicznych elementów

urządzenia do automatycznego zrzutu odważników przy zastosowaniu prądu zasilającego o napięciu 220 V nie przekraczają 0,1 sek.

b. c. Jak można oczekiwać, największe błędy mogą powstać w wyniku hamowania swobodnego ruchu wag przez rurki gumowe łączące kolby A i A_1 z cylindrami B i B_1 . Aby ustalić wielkość tego błędu, przeprowadzono szereg prób na obiektach martwych. Po zmontowaniu całej aparatury (tak jak ona pracuje podczas doświadczeń z roślinami) badano intensywność parowania etanolu i eteru siarkowego z wolnej powierzchni. Założono przy tym, że w stałej temperaturze szybkość parowania cieczy jest wielkością stałą, a zatem zrzuty odważników powinny następować w regularnych odstępach czasu. Jednak w miarę obniżania się poziomu cieczy w naczyniu (oraz wzrastania prężności pary cieczy parującej w powietrzu) szybkość parowania będzie regularnie maleć, tzn. odcinki czasu między zrzutami będą stopniowo wzrastać. W celu zbadania wielkości błędu przy różnych intensywnościach przebiegu badanych procesów stosowano różną wielkość powierzchni parowania oraz cieczy o różnej lotności. W ten sposób ustalono wielkość błędu przy intensywnościach od 16,05 do 197,2 mg/min. przy zastosowaniu styków sprężynowych jak i rtęciowych.

Średni błąd obliczono w sposób następujący: Kolejne zapisy na taśmie przeliczono na sekundy i otrzymany rząd liczb wyrównano metodą szeregu różnic dla wyliczenia krzywej teoretycznej. Ze wzoru krzywej wyliczono wartości teoretyczne (y_t). Z odchyłeń wartości empirycznych (y_e) obliczono średni błąd. Ponieważ próby dotyczyły przebiegu procesu fizycznego, badanego na aparacie mechanicznym, przyjęto poziom ufności $P = 0,01$.

W tabeli 1 (str. 80) przytoczono dla przykładu wyniki jednej z takich prób. W badanym przedziale intensywności ustalono, że średni błąd przy zastosowaniu styków sprężynowych nie przekracza 5—6%, zaś przy zastosowaniu styków rtęciowych 3—4%.

Omawiany wyżej błąd dotyczy oczywiście wyłącznie oznaczeń parowania, tzn. w doświadczeniach z roślinami — transpiracji, bowiem ruchy wagi, na której odbywa się oznaczanie absorpcji, są niemal zupełnie swobodne. Cienkie kapilary zanurzające się i wynurzające ze zlewki nie mogą zakłócać normalnych wskazań wagi.

Oznaczanie absorpcji oparte jest na wyrównywaniu spadku ciśnienia powietrza zamkniętego w naczyniach A i B , wywołanego ubytkiem wody — kosztem wody wypartej ze zlewki C pod wpływem ciśnienia atmosferycznego.

Podstawowym źródłem błędów przy takim pomiarze będą czynniki wpływające na wielkość ciśnienia powietrza zamkniętego w naczyniach. Przede wszystkim należy wymienić tu temperaturę. Wpływ zmian tem-

Tabela 1 — Table 1

Przebieg parowania eteru siarkowego z 2 naczynek o łącznej pow. 8,30 cm², stojących na wadze przystosowanej do oznaczania transpiracji (ruch wagi hamowany przez rurki gumowe, obciążenie szalek 2×120,0 g) Styki rtęciowe

The evaporation of ethyl ether from two dishes of total surface area 8.30 sq. cm. placed on a balance adapted for transpiration determinations (the movements of the balance are retarded by rubber tubes, the load on the scales was 2×120.0 g) Mercury contacts

L.p. No	Czas wyparowywania 63,4 mg eteru w sekundach Time of evaporation of 63.4 mg of ether sec.		Intensywność parowania w mg/min Intensity of evaporation mg./min.		Błąd Error
	emp(y_e) empirical (y_e)	teor.(y_t) theoretical (y_t)	empiryczna empirical	teoretyczna theoretical	
0		58,18			
1	59,7	58,84	63,72	64,65	—0,93
2	58,2	59,60	65,36	63,93	+1,43
3	61,7	60,16	61,65	63,23	—1,58
4	61,7	60,83	61,65	62,53	—0,88
5	61,7	61,49	61,65	61,86	—0,21
6	64,8	62,15	58,70	61,21	—2,51
7	63,2	62,81	60,19	60,56	—0,37
8	66,3	63,48	57,37	59,92	—2,55
9	67,1	64,14	56,69	59,31	—2,62
10	65,9	64,80	57,72	58,66	—0,94
11	64,0	65,46	59,44	58,08	+1,36
12	65,5	66,13	58,08	57,52	+0,56
13	68,1	66,79	55,86	56,95	—1,09
14	67,8	67,45	56,11	56,39	—0,28
15	67,8	68,12	56,11	55,84	+0,27
16	68,2	68,78	55,78	55,29	+0,50
17	69,8	69,44	54,50	54,76	—0,26
18	64,0	70,10	59,44	54,25	+5,19
19	71,7	70,77	53,05	53,75	—0,70
20	69,0	71,43	55,13	53,25	+1,87
21	71,7	72,09	53,05	52,77	+0,28

+ 14,92
Razem — Total — 11,45

Analiza zmienności: Równanie prostej: $y = 58,1768 + 0,66277 \bar{x}$. Przedział ufności dla $P = 0,01$ 4,99 mg/min Średni błąd: 1,7 mg/min, co stanowi 2,72 do 3,33%.

Uwaga: Parowanie 1,331 g eteru trwało 22 minuty 58 sekund, wskutek tego spadek intensywności parowania spowodowany obniżaniem się menisków w naczynkach był tak mały, że przebieg procesu można traktować jako prostoliniowy, tzn. zgodny z równaniem typu: $y = a + bx$.

Analysis of variation: the equation of the straight line is $y = 58.1768 + 0.66277 \bar{x}$ confidence interval for $P = 0.01$ is 4.99 mg./min. mean error = 1.7 mg./min. which amounts to 2.72 to 3.33 pct.

Note: The evaporation of 1.331 g. of ether lasted 22 min. 58 sec. The drop of the evaporation intensity caused by the downward movement of menisci in the dishes must have been, therefore, so small that the course of the process may be regarded as being linear, i.e. conformable with the type $y = a + bx$.

peratury wyeliminowano, jak wiadomo, przez zastosowanie układu kompensacyjnego.

Wielkość błędu, jaki może powstać wskutek różnic w ilości powietrza zamkniętego w obu układach, omówiono już w I cz. pracy (str. 718—719).

W świetle tych rozważań szczególnej wagi nabiera sposób określania zawartości powietrza zamkniętego w naczyniach. Postępowanie jest tu następujące: po obsadzeniu rośliny w korku i po zastygnięciu uszczelniającej warstwy masła kakaowego kolbę wypełnia się wodą. Po usunięciu pęcherzyków powietrza wyciąga się (przez obsadzoną na stałe w korku rurkę szklaną) wodę pipetą z dokładnością do 0,1 ml. Zawartość powietrza w cylindrze B określa się również z tą samą dokładnością. Przy dokładnym skalibrowaniu rurek łączących naczynia i starannym usunięciu powietrza przylegającego do korzeni można uzyskać zgodność ilości powietrza zawartego w obu zestawach z dokładnością do 0,1—0,2 ml. Przy takiej różnicy zmiana temperatury o 10°C powoduje zmianę objętości powietrza o 0,007 ml, co odpowiada 7 mg wody.

Odrębnym źródłem błędów może być zmiana ciśnienia powietrza zamkniętego w naczyniach, powstająca wskutek zmiany poziomów cieczy w zlewce C i cylindrze B. Błędów tych można uniknąć przez stopniowe obniżanie cylindra B w miarę podnoszenia się w nim poziomu wody lub przez odpowiednie zwiększenie średnicy obu naczyń.

Dla kontroli poprawności oznaczeń sumarycznej absorpcji wody w ciągu całego doświadczenia przeprowadza się następującą manipulację. Po zakończeniu doświadczenia wlewa się do kolby A przy pomocy biurety tę samą ilość wody, jaka została pobrana przed doświadczeniem. Objętość wody, jaką należy dolać dla całkowitego wyparcia powietrza z kolby, odpowiada ilości wody pobranej przez roślinę w czasie doświadczenia. Jeśli ciężar dolanej wody zgadza się z ciężarem odważników zrzuconych na szalkę wagi, to pomiar absorpcji jest prawidłowy.

5. Oddychanie korzeni absorbujących wodę powoduje zmiany w składzie powietrza zamkniętego w układzie, co z kolei mogłoby wpłynąć na wielkość ciśnienia tego powietrza.

Przeprowadzono szereg prób, które miały na celu określenie intensywności oddychania korzeni badanych roślin oraz zmiany w zawartości O_2 i CO_2 w powietrzu zamkniętym w naczyniach.

W tabeli 2 podano średnie wyniki z oznaczeń intensywności oddychania korzeni fasoli szparagowej «Saxa», hodowanej w kulturze wodnej (odmiana ta była obiektem wszystkich dotychczasowych doświadczeń). Intensywność oddychania oznaczano w aparacie Warburga, w temperaturze 25°C. Zbadano intensywność oddychania: wierzchołków korzeni, młodych i starych korzeni (zanurzonych w pożywce i umieszczonych w wilgotnej atmosferze) oraz korzeni różnego wieku pociętych na

5 mm odcinki. Oddychanie korzeni pociętych badano w celu ustalenia, jak wpływa na intensywność oddychania uszkodzenie lub złamanie pewnej drobnej ilości korzeni podczas obsadzania roślin w kolbach.

Jeśli uwzględnić średni procentowy udział poszczególnych grup korzeni w ogólnej ich masie, to z pewnym przybliżeniem można określić intensywność oddychania korzeni fasoli w kulturze wodnej w temperaturze 25°C na około 8 ml pochłoniętego tlenu na 1 g świeżej masy na 24 godziny.

Aby określić, jakie zmiany w składzie powietrza zamkniętego w układzie zachodzą podczas doświadczenia, zbadano zawartość tlenu i dwutlenku węgla w powietrzu zamkniętym przed i po doświadczeniu.

Tabela 2 — Table 2

Intensywność oddychania korzeni fasoli szparagowej „Saxa”, w temp. 25°C, w przeliczeniu na 1g świeżej masy (średnie z 5 powtórzeń)

The intensity of respiration of roots of the bean „Saxa” at 25°C calculated to one g. of the fresh mass (Mean values from 5 repetitions)

Korzenie Roots	Środowisko Environment	Zużycie tlenu w ml Consumption of oxygen ml.		%	4 × 5
		na 1 godz. in 1 hour	na 24 godz. in 24 hours		
1	2	3	4	5	6
Wierzchołki Tips	pożywka nutrient	0,4308	10,339	10	103,39
Młode Young	pożywka nutrient	0,4189	10,054	28	281,51
Młode Young	powietrze air	0,3145	7,548	10	75,48
Stare Old	pożywka nutrient	0,2792	6,700	15	100,50
Stare Old	powietrze air	0,2764	6,633	35	222,15
Pocięte na odcinki 5 mm cut in 5 mm sections	pożywka nutrient	0,6714	16,113	2	32,23
Razem — Total				100	815,26

$$815,26 : 100 = 8,15$$

Uwaga:

Kolumna 5 przedstawia procentowy udział poszczególnych próbek korzeni w całej ich masie.

Kolumna 6 — iloczyn intensywności oddychania danej próbki i procentowego udziału w masie korzeni.

Note:

Column 5 lists the percentage share of the particular root samples in the total mass of roots.

Column 6 lists the products of the respiration intensity of a sample (col. 4) and of the percentage share of the sample in the root mass (col. 5).

Tabela 3 — Table 3

Zmiany w składzie powietrza zamkniętego w naczyniach doświadczalnych zachodzące wskutek oddychania korzeni

The changes in the composition of air inside the experimental vessels caused by the respiration of roots

Naczynia Vessel	Próba I Experiment I			Próba II Experiment II		
	A	B	A+B	A	B	A+B
Objętość powietrza przed dośw. Volume of air before experiment	50,0	50,0	100,0	50,0	50,0	100,0
Objętość powietrza po dośw. Volume of air after experiment	60,4	36,5	96,9	57,7	38,8	96,5
Objętość powietrza —CO ₂ Volume of air —CO ₂	54,0	35,0	89,0	52,5	37,5	90,0
Objętość CO ₂ Volume of CO ₂	6,4	1,5	7,9	5,2	1,3	6,5
Objętość powietrza —O ₂ Volume of air —O ₂	49,0	28,5	77,5	46,5	30,5	77,0
Objętość O ₂ Volume of O ₂	5,0	6,5	11,5	6,0	7,0	13,0
Procentowa zawartość CO ₂ Percentage content of CO ₂	10,6	4,1	8,1	9,0	3,3	6,7
Procentowa zawartość O ₂ Percentage content of O ₂	8,3	17,8	11,9	10,4	18,0	13,3
Norm. zawart. O ₂ w danej obj. Normal O ₂ content in given volume	12,1	7,3	19,4	11,6	7,8	19,3
Zawartość O ₂ po doświadczeniu Content of O ₂ after experiment	5,0	6,5	11,5	6,0	7,0	13,0
Zużycie O ₂ w doświadczeniu Consumption of O ₂ in experiment	7,1	0,8	7,9	5,6	0,8	6,3
Iloraz oddechowy CO ₂ :O ₂ Respiratory quotient (CO ₂ :O ₂)			1,000			1,031
Różnica w objętości gazu przy temp.=const Difference in volume of gas when temp.=constant			0,0			0,2

Uwaga: Obie próby (I i II) trwały po 20 godzin. W czasie wykonywania prób ciśnienie atmosferyczne wynosiło 755 mmHg. Temperatura przed doświadczeniem: 26°C, po doświadczeniu: 20°C. Wskutek spadku temperatury z 26° do 20°C przy nie zmienionym ciśnieniu atmosferycznym objętość powietrza zamkniętego w obu naczyniach powinna zmniejszyć się ze 100,0 do 97,007 ml. Błąd odczytu wynosi zatem w próbie I — 0,1 ml, a w próbie II — 0,5 ml.

Wszystkie dane w tabeli wyrażono w ml. Ciężar świeżej masy korzeni wynosił: w próbie I 3,115 g; w próbie II 1,930 g. Absorpcja wody w przeliczeniu na 1 g św. m./1 godz. wynosiła: w próbie I 0,17 g; w próbie II 0,20 g.

Note: Both experiments (I and II) lasted 20 hours each. Throughout the experiments the atmospheric pressure was 755 mm. of the Hg column and the temperature was 26°C before and 20° after the experiment. When temperature dropped from 26 to 20°C and the atmospheric pressure remained unchanged the volume of air inside the two vessels had to decrease from 100.0 to 97.007 ml. This means that the error in the readings was 0.1 and 0.5 ml. in experiments I and II respectively.

All the data in the above table are in millilitres. The weight of the fresh mass of roots was 3.115 g. in experiment I, 1.930 g. in experiment II.

The absorption of water per one gram of the fresh mass of roots during one hour was 0.17 g. in experiment I, 0.20 g. in experiment II.

Zawartość O_2 i CO_2 oznaczano przy pomocy aparatu przedstawionego na ryc. 4. Aparat składa się z trzech biurety, ruchomych zbiorników wodorotlenku potasu (60% KOH) i alkalicznego roztworu pirogalolu (mieszanina 33% pirogalolu i 60% KOH) oraz z łączących je rurek.

Powierzchnia KOH i pirogalolu w zbiornikach zalana jest warstwą oleju parafinowego dla ochrony przed zetknięciem z powietrzem.

Ryc. 4. Schemat aparatu do oznaczania zawartości O_2 i CO_2 w powietrzu zamkniętym w naczyniach zestawu doświadczalnego (Opis w tekście)

Schematic diagram of the apparatus used for determinations of the O_2 and CO_2 contents in the air inside the vessels of the experimental set-up. The details are explained in the Polish text

Ilość powietrza zawartego w badanej próbie określa się na podstawie ilości wody pobranej z biurety W potrzebnej do jego wyparcia. W biurecie K oznacza się zawartość CO_2 . Pozostały w niej gaz przetłacza się do biurety P, gdzie oznacza się zawartość O_2 . Aby zapewnić całkowite

pochłanianie oznaczonego gazu, powietrze tłoczy się przez sitka z piaskowca (oznaczone na ryc. 4 literą *S*) rozbijające bańki powietrza na drobne pęcherzyki. Szybkość przepływu powietrza reguluje się zmieniając poziom zbiorników. W momencie odczytywania zawartości gazu w biurze umieszcza się połączony z nią zbiornik na wysokości menisku.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki prób poświęconych badaniu zmian, jakim ulega skład powietrza zamkniętego w naczyniach *A* i *B* podczas doświadczenia.

Z liczb zawartych w tabeli 3 widać, że skład powietrza w kolbie *A* i w cylindrze *B* po doświadczeniu jest różny. Tłumaczy się to utrudnioną dyfuzją gazów przez cienką rurkę gumową łączącą oba naczynia. Tym niemniej ilość pochłoniętego przez korzenie tlenu odpowiada ilości wydzielonego dwutlenku węgla.

Gromadzenie się gazowego CO_2 w powietrzu zamkniętym w kolbie jest wynikiem małej rozpuszczalności dwutlenku węgla w pożywce, której pH waha się w granicach od 5,2 do 5,7.

Na podstawie przytoczonych danych można więc sądzić, że zmiana składu powietrza podczas doświadczenia nie wpływa istotnie na wielkość jego ciśnienia, a co za tym idzie nie może wywierać wpływu na wyniki oznaczeń absorpcji wody przez korzenie rośliny.

Aby uniknąć ewentualnej dyfuzji CO_2 przez korek i cienkościenne rurki gumowe do atmosfery zewnętrznej, gdzie ciśnienie parcjale CO_2 jest znacznie mniejsze, zastosowano do uszczelnienia kolby *A* korek igielitowy, a rurkę gumową nasycono szkłem organicznym. Jak stwierdzono doświadczalnie, zabezpieczenie takie pozwala utrzymać w kolbie *A* zawartość CO_2 mieszanego z powietrzem w stosunku 1 : 1 przez 48 godzin na nie zmienionym poziomie.

Jak wynika z powyższej analizy źródeł i wielkości błędów mogących powstać w oznaczaniu badanych procesów przy pomocy opisywanego aparatu, nawet przy skumulowaniu wszystkich błędów nie mogą one w sumie przekroczyć 4—6% oznaczanych wartości (oczywiście w rozważaniach tych pominięto błędy związane z samą rośliną). Jak podkreślono wyżej, najpoważniejszy udział w tym sumarycznym błędzie stanowią różnice we wskazaniach wag, wynikające z oporów, jakie w ich swobodnym ruchu stawiają rurki gumowe, łączące kolby *A* i *A*₁ z cylindrami *B* i *B*₁. Należy zaznaczyć, że stosowane wagi były mało precyzyjne, dlatego też wielkość opisywanego błędu można zmniejszyć przy użyciu bardziej dokładnych wag analitycznych. Podobnie można zmniejszyć błędy w odczycie odcinków czasu pomiędzy kolejnymi zrzutami odważników, regulując w odpowiedni sposób szybkość przesuwu taśmy samopisu.

DYSKUSJA

Przy ocenie jakiegokolwiek nowej metody najważniejszym bodaj zagadnieniem jest analiza źródeł i ustalenie wielkości błędów. Należy jednak wyraźnie rozgraniczyć błędy wynikające z podstawowych założeń metody oraz błędy wynikające z technicznego wykonania stosowanej aparatury.

Jak wynika z dokonanej wyżej analizy, najważniejsze źródło błędów metody tkwi w samej zasadzie. Mianowicie oznaczanie obu procesów dokonywane jest wagowo, lecz naczelną zasadą prawidłowego funkcjonowania wagi — swobodny jej ruch — w przypadku oznaczania transpiracji, jest naruszona wskutek hamowania go przez rurki łączące poszczególne naczynia. Wartość wszystkich pozostałych błędów, wynikających z konstrukcyjnych rozwiązań poszczególnych elementów aparatury jest wielkością zmienną, zależną od precyzji technicznego ich wykonania.

Należy tu podkreślić, że opisany aparat w całej pełni zasługuje na miano prototypu. Wszystkie niemal jego części (z wyjątkiem wagi, silnika samopisu, zegara wraz z przekąźnikiem RKZS oraz fabrycznych detali układu opóźniającego) zostały wykonane laboratoryjnie, co niewątpliwie odbiło się na ich precyzji.

Szereg modyfikacji i ulepszeń wprowadzono w toku prób. Lecz nawet na podstawie niewielkiej jeszcze liczby doświadczeń można z całą pewnością przewidzieć daleko idące udoskonalenia, a mianowicie:

1. Przez zastosowanie odważników o mniejszym ciężarze można znacznie zmniejszyć wielkość skoku oznaczeń, zbliżając się w ten sposób do granicy, jaką stanowi czułość wag.

2. Przez zastosowanie wag o większej nośności (np. do 500 g) przy nie zmienionej ich czułości (10 mg) można zwiększyć pojemność kolby mieszczącej badaną roślinę, a więc i wielkość badanych obiektów. Zmiana taka nie powinna wpłynąć na dokładność oznaczeń, jeśli tylko zostanie zachowana zasada zamykania w układzie kontrolnym i doświadczalnym jednakowych ilości powietrza.

3. Przez zastosowanie do napędu wału samopisu przekładni ciągłej (tarciowej) można dowolnie regulować szybkość przesuwu taśmy, a tym samym zmniejszyć błąd przy odczycie odcinków czasu pomiędzy rzutami kolejnych odważników.

4. Przez zastosowanie nowoczesnych samopiszących przyrządów pomiarowych do oznaczania temperatury i wilgotności powietrza — umożliwić prowadzenie badań w absolutnej ciemności.

Na zakończenie autor pozwala sobie wyrazić wdzięczność wszystkim osobom, które okazały pomoc w wykonywaniu niniejszej pracy.

Szczególnie serdeczne podziękowanie autor składa prof. dr Helenie Birec-kiej za krytyczną ocenę całej pracy i cenne uwagi przy analizowaniu błędów metody, prof. drowi Franciszkowi Majewskiemu za łaskawe udostępnienie pomieszczeń w swoim Zakładzie dla przeprowadzenia prób i doświadczeń.

STRESZCZENIE

1. Opisano metodę jednoczesnego oznaczania transpiracji i absorpcji wody przez nie uszkodzone rośliny w kulturach wodnych.

Oba procesy oznaczane są wagowo. Pomiar transpiracji i absorpcji wody, które można prowadzić nieprzerwanie w ciągu wielu godzin, dokonywane są przez automatyczną rejestrację czasu potrzebnego do wyparowania lub pobrania przez roślinę 63,4 mg wody. Transpiracja oznaczana jest bezpośrednio na podstawie zmniejszania się ciężaru naczynia z rośliną, absorpcja zaś pośrednio, a mianowicie: na miejsce pobranej wody przez korzenie rośliny ciśnienie atmosferyczne wciąga równoważną objętość powietrza z połączonego z naczyniem cylindra. Powoduje to z kolei wyparcie z otwartego naczynia stojącego na szalce wagi równoważnej objętości wody z tegoż cylindra. Rejestrowane automatycznie ubytki ciężaru tego naczynia odpowiadają wielkością absorpcji wody. Aparat przystosowany jest do jednoczesnego badania czterech roślin.

2. W celu zwiększenia precyzyjności działania układu rejestrującego i wyeliminowania przypadkowych zapisów zastosowano elektronowy układ opóźniający oraz wprowadzono szereg ulepszeń w porównaniu z prototypem opisanym w cz. I i II niniejszej pracy (Tarłowski 1955, 1956).

3. Szczegółowo przeanalizowano źródła błędów metody w oparciu o wyniki prób przeprowadzonych na modelach martwych. Błąd własny metody nie przekracza 5%.

4. Omówiono możliwości dalszego udoskonalenia metody.

*Zakład Fizjologii Roślin SGGW
w Warszawie*

(Wpłynęło dn. 4.8.1960 r.)

SUMMARY

1. The paper describes a method for the simultaneous determination of transpiration and water absorption by undamaged plants in water cultures.

Both processes are determined by weight. The determinations of transpiration and water absorption can be continued uninterruptedly for many hours and consist in automatic recording of the time necessary for the evaporation or the absorption by a plant of 63.4 mg. of water. Transpiration is determined directly from the decrease of the weight of the vessel containing water in which the plant is cultivated. The determinations of absorption are indirect and are based on the following principle: the volume of water absorbed by the roots of an experimental plant is replaced by an equal volume of air forced into the vessel by atmospheric pressure

from a connected cylinder. This, in turn, causes the flow of an equal volume of water to the cylinder from an open vessel placed on a balance. The decreasing weight of the open vessel is recorder automatically and the decrease corresponds to the absorption of water by the plant. The apparatus is constructed for the simultaneous observation on four plants.

2. To make more precise the functioning of the registering system and to eliminate haphazard records an retarding, electronic devise was used and many other improvements in comparison with previously described apparatus (Tarłowski 1955, 1956) were introduced.

3. A detailed analysis of the error sources of this method is given based on the results from the experiments with nonliving models. The error of this method doesn't exceed 5%.

4. The possibilities of further improvement of the method are discussed.

*Department of Plant Physiology
High School of Agriculture
in Warsaw*

(Entered: 4.8.1960)

LITERATURA

- Andersson N. E., Hertz C. H., Rufelt H., 1954, *Physiol. Plant.* 7:753—767.
 Decker J. P., Wetzell B. F., 1957, *Forest Sci.* 3:350—354.
 Huber B., Miller R., 1954, *Ber. dtsh. bot. Ges.* 67:223—234.
 Karmanow W. G., Pumianskaja S. L., 1956 a, *Biofizika* 1 (1):43—48.
 Karmanow W. G., Pumianskaja S. L., 1956 b, *Agrobiologija* 6 (102): 117—124.
 Klesznin A. P., Strogonow B. P., Szulgin I. A., 1954, *Fizjol. rastenij* 1 (2):188—192.
 Koch W., 1957, *Planta* 48 (4):418—452.
 Kramer P. J., 1937, *Amer. J. Bot.* 24:10—15.
 Küster H. J., 1956, *Ber. dtsh. bot. Ges.* 69 (2):67—74.
 Küster H. J., 1958, *Ztsch. f. Bot.* 46 (1):67—74.
 Lachenmeier J., 1932, *Jb. wiss. Bot.* 76:765—827.
 Meyer B. S., 1956, *Handbuch d. Pflanzenphysiol.* Band III: 596—614, Springer-Verlag.
 Montfort C., 1922, *Ztsch. f. Bot.* 14:97—172.
 Rosene H., 1954, *Physiol. Plantarum* 7 (1):190—194.
 Tarłowski J., 1955, *Acta Soc. bot. Pol.*, 24:705—722.
 Tarłowski J., 1956, *ibid.* 25:401—408.
 Unger F., 1861, *Sitzb. Akad. Wien Abt. I*, 44:81—127, 327—368.
 Vesque J., 1878, *Ann. Sci. Nat.* 6 ser. Bot. 6:169—209.