

<https://doi.org/10.18778/8220-012-6.05>

ROZDZIAŁ V. **DALEKI TRANSPORT WODY, TRANSPIRACJA**

CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Wzrost roślin jest uzależniony od ciągłego zaopatrywania komórek w substancje pokarmowe i wodę. Zawartość wody w tkankach aktywnych metabolicznie może wynosić 70–95%. Woda pełni wielorakie funkcje w roślinie. Jest rozpuszczalnikiem wielu substancji, tworzy środowisko reakcji chemicznych, a w niektórych reakcjach bierze bezpośredni udział jako substrat lub produkt. Woda hydratacyjna związana z makromolekułami odpowiada za ich strukturę i aktywność metaboliczną. Woda podtrzymuje turgor, umożliwia szybki wzrost komórek oraz całej rośliny. Jest ważnym czynnikiem termoregulacji. Transportuje związki mineralne i niektóre metabolity w ksylemie oraz produkty asymilacji i substancje biologicznie czynne we floemie.

Przemieszczanie się wody w roślinie zachodzi w wyniku trzech podstawowych procesów: dyfuzji, osmozy oraz przepływu objętościowego (masowego), który odpowiada za **daleki transport wody w ksylemie** i transport floemowy. Warunkiem pobierania wody i jej dalekiego transportu w roślinie jest istnienie gradientu potencjału wody w układzie gleba-roślina-atmosfera, a działanie ssące transpiracji jest główną siłą napędową. **Transpiracja** to inaczej proces czynnego parowania wody z powierzchni liści oraz innych organów nadziemnych, wspomagany przez siły kapilarne, kohezję i adhezję. Szybkość transportu wody w naczyniach ksylemu uzależniona jest głównie od intensywności transpiracji, oznaczającej ilość wody, która wyparowała z rośliny, przeliczoną na jednostkę powierzchni liści, w określonym czasie. Jednostką intensywności transpiracji w układzie SI jest $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Woda paruje głównie przez szparki (transpiracja szparkowa) oraz w mniejszym stopniu przez skutynizowaną epidermę (transpiracja kutykularna) i przetchlinki. Intensywność transpiracji regulowana jest przez czynniki roślinne, takie jak: wielkość

i przepuszczalność powierzchni parowania wody, liczba i stopień rozwarcia szparek oraz opór kutykularny i szparkowy, a także przez czynniki środowiskowe, w tym: ilość i dostępność wody w glebie, temperatura i napowietrzenie gleby oraz temperatura i wilgotność powietrza, światło i wiatr.

Bilans wodny rośliny jest definiowany jako różnica między ilością wody pobranej i ilością wody wytranspirowanej przez roślinę w określonym czasie. Jeśli utrata wody dominuje nad jej pobieraniem, bilans wodny jest ujemny. Jego objawem jest więdnienie rośliny. Czynniki stresowe, takie jak: niedobór wody (susza), nadmiar wody (zalanie) i uszkodzenia mechaniczne tkanki przewodzącej, zakłócają transport wody. W warunkach deficytu wody zwiększa się **synteza kwasu abscysynowego (ABA)** w roślinach, natomiast nadmiar wody (zalanie) powoduje syntezę etylenu. Oba fitohormony są ważnymi przekaźnikami informacji o pogarszających się stosunkach wodnych między korzeniem i pędem. W regulacji ruchu szparek ważną rolę odgrywa ABA, przemieszczający się w ksylemie wraz z prądem transpiracyjnym do liści, powodujący szybkie zamknięcie szparek.

CZĘŚĆ PRAKTYCZNA

Doświadczenie I

Wpływ powierzchni liści na zdolność roślin do dalekiego transportu wody

Cel ćwiczenia

Zbadanie wpływu powierzchni liści na objętość wody pobranej przez roślinę w wyniku działania siły ssącej transpiracji.

Zasada metody

W wyniku transpiracji roślina pobiera wodę, co powoduje przemieszczanie się pęcherzyka powietrza w potometrze. Pobieranie wody przez roślinę jest wprost proporcjonalne do dystansu pokonanego przez pęcherzyk. W celu wyeliminowania zjawiska parcia korzeniowego w doświadczeniu wykorzystywane są pędy roślin pozbawione korzeni.

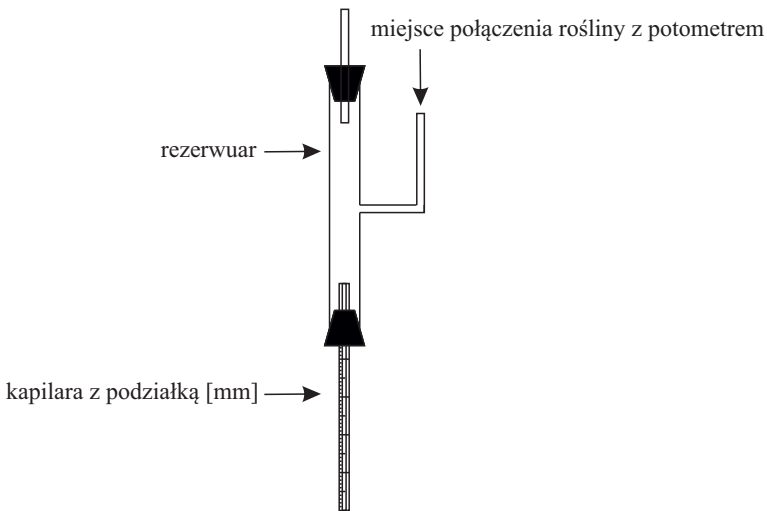
Materiał

pęd bzu, figowca lub rośliny innego gatunku mającej zdrewniałą łodygę oraz co najmniej 40 liści

Sprzęt laboratoryjny

potometr (przykład konstrukcji potometru przedstawia rysunek 5.1), zlewka (100–250 cm³), kuweta laboratoryjna (~10 dm³), statyw, waga laboratoryjna, smar silikonowy lub parafilm, papier, stoper

Rysunek 5.1. Schemat budowy potometru



Wykonanie doświadczenia

Kuwetę laboratoryjną napełnić wodą z kranu i zanurzyć w niej dolną część pędu świeżo uciętej rośliny oraz potometr. Potometr wraz z rezerwuarem powinien być całkowicie wypełniony wodą, bez pęcherzyków powietrza, które po dostaniu się do ksylemu mogłyby utrudnić lub całkowicie zahamować transport wody w roślinie. Następnie pod wodą włożyć koniec pędu rośliny do otwartego przewodu potometru i uszczelnić połączenie smarem silikonowym lub parafilmem. Po uszczelnieniu potometru zamknąć szczelnie rezerwuuar wody gumowym korkiem. Zlewkę wypełnić wodą z kranu. Po ostrożnym wyjęciu z kuwety rośliny z potometrem niezwłocznie zanurzyć koniec kapilary potometru w zlewce, tak aby zachować ciągłość pobierania wody przez roślinę. Całość zamontować w statywie. Przed rozpoczęciem pomiaru

pozbierania wody przez roślinę wszystkie liście powinny zostać osuszone. Przygotować stoper. Wyjąć kapilarę ze zlewki. Po pojawieniu się pęcherzyka powietrza ponownie zanurzyć kapilarę w zlewce. Kiedy pęcherzyk przemieści się do początku podziałki na kapilarze, włączyć stoper i mierzyć odległość pokonaną przez pęcherzyk w ciągu 1 minuty. Wynik zanotować w tabeli 5.1.

Przygotować potometr do kolejnego pomiaru. W tym celu poczekać, aż pęcherzyk powietrza przemieści się do rezerwuaru, a woda ponownie wypełni całą kapilarę. Pomiar powtórzyć dwukrotnie. Wyniki uśrednić.

Po wykonaniu trzech pomiarów dystansu, jaki pokonał pęcherzyk powietrza, odciąć od pędu 10 liści oraz oznaczyć pole powierzchni liści metodą wagową (grawimetryczną). Kontury blaszek liściowych odciętych od rośliny obrysować na papierze. Wycięte, papierowe odwzorowania liści zważyć. Z tego samego papieru wyciąć fragment o znanej powierzchni, np. 1 dm², i zważyć. Znając masę jednostki powierzchni papieru i masę liści papierowych, z proporcji wyliczyć powierzchnię liści, korzystając ze wzoru:

$$X = \frac{A}{B \times 100}$$

gdzie:

X – powierzchnia liści [m²],

A – masa papierowego odwzorowania liści [g],

B – masa 1 dm² papieru [g].

Po odcięciu 10 liści ponownie wykonać pomiar dystansu pokonanego przez przemieszczający się pęcherzyk powietrza w ciągu 1 minuty. Pomiar powtórzyć dwukrotnie, a uzyskane wyniki uśrednić. Następnie odciąć kolejne 10 liści, oszacować ich powierzchnię i wykonać ponowne pomiary jak wyżej. Ostatnie pomiary dystansu pokonanego przez przemieszczający się pęcherzyk powietrza powinny zostać wykonane z wykorzystaniem pędu pozbawionego liści. Uśrednione wyniki zanotować w tabeli 5.1.

Opracowanie wyników

Obliczyć całkowite pole powierzchni liści usuniętych podczas całego eksperymentu, sumując pola powierzchni liści usuniętych w kolejnych etapach doświadczenia. Następnie obliczyć pole powierzchni

liści pozostających na pędzie na każdym etapie eksperymentu. Na zakończenie obliczyć objętość wody pobranej przez roślinę w wyniku transpiracji na każdym etapie działania, korzystając ze wzoru:

$$V = \frac{3,14 \times r^2 \times d}{1000}$$

gdzie:

- V – objętość wody pobranej przez roślinę w wyniku transpiracji [$\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}$],
- 3,14 – wartość π ,
- r – promień podstawy kapilary [mm],
- d – dystans pokonany przez pęcherzyk powietrza [mm].

Po uzupełnieniu tabeli 5.1 wykonać wykres zależności objętości wody pobranej przez roślinę w wyniku transpiracji [$\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}$] od powierzchni liści [m^2]. Wyniki omówić i zinterpretować.

Tabela 5.1. Zależność objętości wody pobranej przez roślinę w wyniku transpiracji od powierzchni liści

Wariant	Powierzchnia liści [m^2]	Średni dystans pokonany przez pęcherzyk powietrza [mm min^{-1}]	Objętość wody pobranej przez roślinę w wyniku transpiracji [$\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}$]
Pęd 40 liści			
Pęd 30 liści			
Pęd 20 liści			
Pęd 10 liści			
Pęd bez liści			

Doświadczenie II
Wpływ warunków środowiska na intensywność transpiracji

Cel ćwiczenia
Zbadanie wpływu oświetlenia, temperatury i wilgotności powietrza na intensywność transpiracji.

Zasada metody
Warunki środowiska, m.in. oświetlenie, temperatura oraz wilgotność powietrza, mogą wpływać na stopień rozwartości szparki oraz intensywność transpiracji, a w konsekwencji na ilość wody

pobranej przez rośliny. Pomiar ubytku wody w określonych warunkach środowiska pozwala na ocenę wpływu tych warunków na intensywność transpiracji.

Materiał

24 rośliny tulipana podobnej wielkości

Sprzęt laboratoryjny

12 probówek typu Falcon 15 cm³, statywy, pipety, zlewka (100–250 cm³), waga laboratoryjna, lampka biurkowa, wentylator, nawilżacz powietrza, olej lub parafina, skalpel

Wykonanie doświadczenia

12 probówek umieszczonych w statywach napełnić wodą z kranu do objętości 5 cm³. Następnie koniec łodygi każdej rośliny odciąć pod wodą w zlewce w celu usunięcia części, w której wiązki przewodzące mogły być zapowietrzone. Umieścić po dwie rośliny w każdej probówce. Na powierzchnię wody ostrożnie nanieść kroplę płynnej parafiny lub oleju, która utworzy warstwę zabezpieczającą przed ewaporacją. Określić masy początkowe (m_p) probówek z roślinami. Probówki z roślinami (dwie probówki/wariant) pozostawić na 2,5 godziny w określonych warunkach środowiska. Do przygotowania wariantów doświadczalnych wykorzystać odpowiednio lampkę biurkową, wentylator, nawilżacz powietrza.

Warianty doświadczenia obejmują:

- a)** światło/ $\sim 22^\circ\text{C}$, tj. rośliny pozostawione na świetle (np. na stole laboratoryjnym dodatkowo oświetlonym lampką biurkową), w temperaturze pokojowej, w atmosferze optymalnej wilgotności powietrza – rośliny kontrolne;
- b)** ciemność/ $\sim 22^\circ\text{C}$, tj. rośliny pozostawione w ciemności, w temperaturze pokojowej, w atmosferze optymalnej wilgotności powietrza (np. w wentylowanej komorze, bez dostępu światła);
- c)** światło/ $\sim 10^\circ\text{C}$, tj. rośliny pozostawione na świetle, w warunkach obniżonej temperatury (np. w chłodni, na stole laboratoryjnym, dodatkowo oświetlonym lampką biurkową);

- d)** ciemność/ $\sim 10^{\circ}\text{C}$, tj. rośliny pozostawione w ciemności, w warunkach obniżonej temperatury (np. w chłodni, bez dostępu światła);
- e)** powietrze suche/ $\sim 30^{\circ}\text{C}$, tj. rośliny pozostawione na świetle, w warunkach podwyższonej temperatury i obniżonej wilgotności powietrza (np. na stole laboratoryjnym, dodatkowo oświetlonym lampką biurkową, na którym stoi włączony wentylator skierowany bezpośrednio w stronę badanych roślin);
- f)** powietrze wilgotne/ $\sim 30^{\circ}\text{C}$, tj. rośliny pozostawione na świetle, w warunkach podwyższonej temperatury i podwyższonej wilgotności powietrza (np. na stole laboratoryjnym, dodatkowo oświetlonym lampką biurkową, na którym stoi włączony nawilżacz powietrza skierowany bezpośrednio w stronę badanych roślin).

Po upływie 2,5 godziny określić masy końcowe (m_k) próbek z roślinami. Uśrednione wyniki z dwóch powtórzeń zanotować w tabeli 5.2.

Opracowanie wyników

Określić pole powierzchni liści zgodnie ze wzorem zamieszczonym w Doświadczeniu I. Określić intensywność transpiracji metodą wagową, polegającą na ocenie masy wody wytranspirowanej z liści, które mają jednocześnie możliwość pobierania wody. Ilość wody wytranspirowanej wylicza się z różnicy między masą początkową i końcową zestawu doświadczalnego. Intensywność transpiracji obliczyć, korzystając ze wzoru:

$$T = \frac{(m_p - m_k) \times 1000}{18 \times P_l \times t}$$

gdzie:

T – intensywność transpiracji [$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$],

m_p – masa początkowa [g],

m_k – masa końcowa [g],

18 – masa molowa wody [g mol^{-1}],

P_l – powierzchnia liści [m^2],

t – czas pomiaru [s].

Wyniki omówić i zinterpretować.

Wariant	m_p [g]	m_k [g]	Powierzchnia liści [m ²]	Intensywność transpiracji [mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]
Światło/~22°C				
Ciemność/~22°C				
Światło/~10°C				
Ciemność/~10°C				
Powietrze suche/~30°C				
Powietrze wilgotne/~30°C				

Tabela 5.2. Zależność intensywności transpiracji od warunków środowiska

Doświadczenie III

Wpływ deficytu wody na proces transpiracji

Cel ćwiczenia

Zbadanie wpływu deficytu wody na przyrost względnej wilgotności powietrza w wyniku transpiracji.

Zasada metody

Transpiracja wpływa istotnie na wilgotność powietrza. Pomiar przyrostu względnej wilgotności powietrza w wyniku transpiracji roślin rosnących w warunkach deficytu wody, a następnie po ich podlaniu pozwala pośrednio na ocenę wpływu braku wody na intensywność transpiracji.

Materiał

rośliny bazylii

Sprzęt laboratoryjny

pojemnik szklany lub plastikowy (~5 dm³), termometr, 2 higrometry, stoper, smar silikonowy

Wykonanie doświadczenia

Do pustego pojemnika szklanego włożyć termometr i higrometr. Odczytać wartość temperatury [°C] oraz wilgotności względnej powietrza [%] w czasie t_0 . Wyniki zanotować w tabeli 5.3. Następnie roślinę bazylii, która została podlana ostatni raz dwa

dni przed wykonaniem doświadczenia, włożyć do pojemnika. Pojemnik szczelnie zamknąć i uszczelnić. Włączyć stoper. Po 3 minutach ponownie odczytać wartość temperatury oraz wilgotności względnej powietrza w czasie t_3 , a następnie w kolejnych przedziałach 3-minutowych (odpowiednio czasy: t_6 , t_9 , t_{12} , t_{15} i t_{18}). Po wykonaniu doświadczenia roślinę wyjąć z pojemnika i podlać wodą z kranu. Odczekać 30 minut. Po tym czasie roślinę ponownie wstawić do pojemnika i odczytywać wartości temperatury oraz wilgotności względnej powietrza w czasach t_3 – t_{18} . Obliczyć średni przyrost względnej wilgotności powietrza poprzez odjęcie od względnej wilgotności powietrza w danym punkcie czasowym wartości w czasie t_0 . Wszystkie wyniki zanotować w tabeli 5.3.

Opracowanie wyników

Po uzupełnieniu tabeli 5.3 wykonać wykres zależności przyrostu względnej wilgotności powietrza [%] od czasu [min]. Na wykresie przedstawić wartości otrzymane dla rośliny rosnącej w warunkach deficytu wody oraz rośliny po podlaniu, w analizowanych przedziałach czasowych. Wyniki omówić i zinterpretować.

Tabela 5.3. Wpływ deficytu wody na proces transpiracji

Czas [min]	Roślina rosnąca w warunkach deficytu wody			Roślina po podlaniu		
	Temperatura [°C]	Względna wilgotność powietrza [%]	Przyrost względnej wilgotności powietrza [%]	Temperatura [°C]	Względna wilgotność powietrza [%]	Przyrost względnej wilgotności powietrza [%]
t_0						
t_3						
t_6						
t_9						
t_{12}						
t_{15}						
t_{18}						

Doświadczenie IV

Wpływ kwasu abscysynowego (ABA) na proces transpiracji

IV.A. WPŁYW ABA NA FUNKCJONOWANIE APARATÓW SZPARKOWYCH

Cel ćwiczenia

Zbadanie wpływu ABA na rozwartość szparek.

Zasada metody

ABA jest jednym z głównych endogennych czynników regulujących rozwartość szparek w aparatach szparkowych. Egzogen-na aplikacja ABA na liście umożliwia obserwację zamykania szparek.

Materiał

rośliny trzykrotki i zielistki

Odczynniki

woda destylowana, 100 μM ABA

Sprzęt laboratoryjny

szklane szalki Petriego o pojemności około 0,5 dm³, żyłетки, pęsety, igły preparacyjne, szkiełka zegarkowe, szkiełka mikroskopowe, zlewka, pipety, mikroskop

Wykonanie doświadczenia

W szklanych szalkach wypełnionych wodą destylowaną umieścić 5 odciętych liści trzykrotki lub zielistki, dolną stroną blaszki liściowej. Liście pozostawić w szalkach na 24 godziny, w oświetlonym miejscu, w temperaturze pokojowej (ok. 23°C). Po 24 godzinach wyciąć żyłetką fragmenty dolnej i górnej skórki liści, a następnie umieścić je na 2 godziny na szkiełkach zegarkowych wypełnionych odpowiednio wodą destylowaną (kontrola) lub 100 μM ABA. Po inkubacji przygotować preparaty mikroskopowe i obserwować je przy powiększeniu obiektu 10 $\times$.

Opracowanie wyników

Wyliczyć średnią liczbę aparatów szparkowych (otwartych i zamkniętych) przypadających na pole widzenia mikroskopu (10 pól widzenia/preparat). Średnie wartości liczby aparatów szparkowych w polu widzenia mikroskopu podać w tabeli 5.4. Obliczyć % otwartych szparek w poszczególnych wariantach. Wyniki omówić i zinterpretować. Opisać, jaki typ liści ze względu na usytuowanie aparatów szparkowych występuje u trzykrotki, a jaki u zielistki.

Tabela 5.4. Wpływ ABA na rozwartość szparek

Parametr	Rośliny trzykrotki		Rośliny zielistki	
	Kontrola	ABA	Kontrola	ABA
Górna skórka liścia				
Średnia liczba aparatów szparkowych				
% otwartych szparek				
Dolna skórka liścia				
Średnia liczba aparatów szparkowych				
% otwartych szparek				

IV.B. WPŁYW ABA NA INTENSYWNOŚĆ UTRATY WODY Z LIŚCI

Cel ćwiczenia

Zbadanie wpływu ABA na względną zawartość wody w liściach poddanych procesowi suszenia.

Zasada metody

Pomiar zmian względnej zawartości wody w liściach roślin kontrolnych oraz traktowanych egzogennie ABA, poddanych procesowi suszenia, pozwala na pośrednią ocenę wpływu ABA na spadek transpiracji, a w konsekwencji spadek ilości utraconej wody.

Materiał

siewki kukurydzy hodowane hydroponicznie

Odczynniki

woda destylowana, 100 μ M ABA

Sprzęt laboratoryjny

szalki Petriego, eksykator, ręczniki papierowe, waga laboratoryjna, papier, stoper

Wykonanie doświadczenia

Nasiona kukurydzy inkubować 4 godziny w wodzie, a następnie wyłożyć na szalki Petriego – z umieszczonymi na nich krążkami bibuły zwilżonymi wodą destylowaną. Szalki umieścić w ciemności, w temperaturze $\sim 28^{\circ}\text{C}$ celem skielkowania nasion. Siewki mające korzenie o długości około 1 cm umieścić w kielkownikach do hodowli hydroponicznej. Dalszą hodowlę prowadzić w temperaturze $\sim 28^{\circ}\text{C}$, przy fotoperiodzie 18 godzin/6 godzin (dzień/noc), aż do pojawienia się co najmniej 5 liści na roślinie. Następnie odciąć liście siewek kukurydzy i umieścić po 10 sztuk na szalkach Petriego wyłożonych bibułą filtracyjną zwilżoną 10 cm^3 wody destylowanej (kontrola) lub 10 cm^3 $100\text{ }\mu\text{M}$ ABA (ABA). Dalszą inkubację prowadzić w ciemności, w temperaturze 25°C przez 24 godziny. Po 24 godzinach liście wyjąć z szalek, osuszyć i niezwłocznie zważyć w czasie t_0 . Następnie liście umieścić w eksykatorze na 2 godziny i ważyć co 20 minut. Wyniki zanotować w tabeli 5.5.

Opracowanie wyników

Określić względną zawartość wody w liściach (RWC), korzystając ze wzoru:

$$\text{RWC} = \frac{\text{masa liści w danym punkcie czasowym doświadczenia}}{\text{masa liści w czasie } t_0} \times 100$$

gdzie:

RWC – względna zawartość wody w liściach [%].

Uzyskane wyniki umieścić w tabeli 5.5 i na ich podstawie wykonać wykres zależności RWC [%] od czasu [min]. Na wykres nanieść wartości otrzymane dla rośliny inkubowanej w wodzie destylowanej (kontrola) lub $100\text{ }\mu\text{M}$ ABA (ABA). Wyniki omówić i zinterpretować.

Czas [min]	Kontrola		ABA	
	Masa liści [g]	RWC [%]	Masa liści [g]	RWC [%]
t_0				
t_{20}				
t_{40}				
t_{60}				
t_{80}				
t_{100}				
t_{120}				

Tabela 5.5. Wpływ ABA na względną zawartość wody (RWC) w liściach kukurydzy poddanych procesowi suszenia

Literatura

Kopcewicz J., *Podstawy biologii roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.

Kopcewicz J., Lewak S. (red.), *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.

Kozłowska M. (red.), *Fizjologia roślin. Od teorii do nauk stosowanych*, PWRiL, Warszawa 2007.