

ROMUALD DOMAŃSKI

WODA ZWIĄZANA I JEJ ZNACZENIE W ODPORNOŚCI ROŚLIN

Woda jako środowisko, z którego wyszło życie, jest decydującym czynnikiem w procesach życiowych tak świata roślinnego, jak i zwierzęcego. Szerokie monograficzne ujęcie udziału wody w procesach fizjologicznych roślin przedstawiają Crafts, Curier, Stocking (1949) oraz Strebeyko (1953).

Przy bliższym zapoznaniu się z powyższym zagadnieniem widać jak bardzo jest ono obszerne i jak wiele elementów składa się na jego całość. Jednym z tych elementów wchodzących w zakres problemu znaczenia wody w życiu roślin — to właśnie woda związana. Pierwsze wzmianki o istnieniu zróżnicowanych frakcji wody przypadają na lata 1916—1917, kiedy Foote i Saxton stwierdzili w żelach nieorganicznych istnienie pewnych ilości wody nie zamarzającej w temperaturze -20°C . W tym samym czasie Bouyoucos (1917) skonstatował, że pewna część wody nie zamarza w glebie nawet przy -40°C . Był on zdania, że jest ona niedostępna dla roślin.

O istnieniu frakcji wody związanej w roślinach donoszą Balcer, Sansum i Woodyatt (1919) sugerując równocześnie, że w roślinach istnieje pewna równowaga między wodą związaną i wolną. W 1922 roku Newton stwierdza wahania w ilości wody związanej u pszenicy ozimej w zależności od temperatury. U roślin poddanych działaniu niskiej temperatury było więcej wody związanej w masie wody ogólnej.

Od tego czasu datuje się silny wzrost zainteresowania wodą związaną. Największe nasilenie prac na ten temat obserwuje się w latach trzydziestych i to szczególnie w Ameryce i w ZSRR.

Zagadnienie bowiem wody związanej od początku jego istnienia powiązane z odpornością na niskie temperatury i suszę. Nic więc dziwnego, że zainteresowanie wodą związaną było szczególnie silne w krajach o dużych wahaniami klimatycznych.

Dla lepszego zrozumienia istoty wody związanej trzeba zwrócić uwagę na naturę sił wiążących wodę. Należy wziąć pod uwagę, że cząsteczka wody jest dipolem. Ponieważ koloidy z reguły zawierają ładunek elektryczny nic więc dziwnego, że wokół koloidu następuje uporządkowanie cząstek wody, które tworzą pewnego rodzaju powierzchniowy płaszcz wodny. Zupełnie

analogicznie przedstawia się sprawa z uwodnieniem jonów. Grubość płaszczki wodnego wokół micelli koloidu, jonu czy też jakiejś grupy chemicznej może być różna w zależności od charakteru koloidu, wielkości ładunku, specyfiki jonu czy też grupy chemicznej.

Z drugiej strony grubość błonki wodnej zależy od wielu czynników zewnętrznych, jak: temperatura, wilgotność, odczyn środowiska itp. Jeżeli równocześnie zdamy sobie sprawę z tego, że organizm roślinny jest w uproszczeniu ogromnym układem koloidowo-krystaloidowym, to wynika stąd ogromne znaczenie wody związanej. Woda związana występuje tu w postaci błonki wokół takich koloidów jak białka, węglowodany różnego typu i inne związki organiczne. Znaczna ilość wody związanej otacza również jony, czego się zdaniem Chandlera (1941) nie docenia. Woda może być również związana przez wiele grup chemicznych o własnościach hydrofilowych, jak również przez tlen i azot wiązania peptydowego.

Przedstawione powyżej typy wiązania cząsteczek wody są silniejsze niż wzajemne powiązanie się cząsteczek H_2O w wodzie, czy też w siatce krystalicznej lodu (Goertner 1938). Odnosi się to szczególnie do cząsteczek leżących bliżej centrum siły wiążącej.

W wielu pracach porusza się zagadnienie labilności pojęcia wody związanej (Walter 1931). Jest to zrozumiałe, gdyż w miarę oddalania się od centrum koloidu, jonu itp. płaszcz wodny jest utrzymywany (zgodnie z prawem elektrostatyki) coraz słabszą siłą. Nie można więc przeprowadzić ostrej granicy między wodą związaną a wolną, a podawane kryteria oceny ilościowej są w wysokim stopniu umowne. Nic więc dziwnego, że różni badacze znajdują ilości wody związanej często bardzo różniące się od siebie. Tak np. Greenberg i Hill (1930) stwierdzają bardzo małą ilość wody związanej w badanych tkankach, natomiast Sayre (1932) dość znaczne ilości. Ta rozbieżność wynika w dużym stopniu z faktu stosowania różnych metod do oznaczeń.

Sayre (1932) stwierdza, że sok z liści zbóż badany metodą krioskopową zawiera 5,8% wody związanej w stosunku do wody ogólnej; przy metodzie dilatometrycznej jest jej 12,7%, a przy kalorymetrycznej 14,8%.

Z drugiej strony stwierdzono również znaczne wahania wody związanej w stosunku do ogólnej. Uzależnione są one od warunków siedliska, organu rośliny, wieku oraz okresu i warunków wegetacji.

a) Zależność ilości wody związanej od organu

(Sayre 1932 — metoda kalorymetryczna)

gałązki sosny — marzec	— 54,2%
igły sosny — marzec	— 26,0%
liście zbóż — czerwiec	— 21,0%
łodygi zbóż — czerwiec	— 11,0%

b) Wpływ siedliska na ilość wody związanej

(Korstian 1933)

Pinnus echinata na glebie wilgotnej 18,2*Pinnus echinata* na glebie suchej 25,0

Badania własne (doświadczenie z 1957 r.) wykazały również zależność ilości wody związanej od intensywności suszy:

przy suszy wynoszącej 16% pełnej pojem. wodnej jęczmień miał	26,1%	wody związanej w stos. do ogólnej
przy suszy wynoszącej 20% pełnej pojem. wodnej jęczmień miał	25,3%	„ „ „ „ „ „
przy suszy wynoszącej 24% pełnej pojem. wodnej jęczmień miał	24,1%	„ „ „ „ „ „
podczas gdy przy 60% pojem. wodnej gleby jęczmień miał	20,4%	„ „ „ „ „ „

wody związanej w stosunku do ogólnej jej zawartości.

Innym czynnikiem siedliskowym, który również wpływa na zawartość procentową wody związanej to azot. Rośliny jęczmienia wyrosłe bądź to na podwójnej dawce azotu (doświadczenie 1956 r.), bądź też dokarmione nim w czasie wegetacji cechowały się wyższym procentem wody związanej. I tak:

rośliny wyrosłe na 1 N	— 14,7%	wody związanej w stos. do ogólnej
rośliny wyrosłe na 2 N	— 17,8%	wody związanej w stos. do ogólnej
rośliny dokarmione 1 N w krzewieniu	— 18,2%	wody związanej w stos. do ogólnej
rośliny dokarmione 1 N w żdzbleniu	— 18,3%	wody związanej w stos. do ogólnej

Na procentową zawartość wody związanej w roślinie jęczmienia wpływa łączne działanie poziomego żywienia azotem i suszy (doświadczenie 1957 r.).

warunki normalne	— 20,4%	wody związanej w stos. do ogólnej
dokarmianie 1 N w krzewieniu,		
16% pełnej pojem. wodnej gleby	— 28,0%	„ „ „ „ „ „
dokarmianie 1 N w krzewieniu,		
20% pełnej pojem. wodnej gleby	— 27,6%	„ „ „ „ „ „
dokarmianie 1 N w krzewieniu,		
24% pełnej pojem. wodnej gleby	— 26,8%	„ „ „ „ „ „
dokarmianie 1 N w krzewieniu,		
60% pełnej pojem. wodnej gleby	— 22,2%	„ „ „ „ „ „

c) Wpływ okresu wegetacji na ilość wody związanej przedstawił Stark (1936). Stwierdza on, że procent wody związanej u gałązki jabłoni jest znacznie większy zimą niż latem.

Odrębnym zagadnieniem jest udział wody związanej w procesach fizjologicznych.

Zagadnienie współzależności między procesami fizjologicznymi a stanem wody w organizmie należałoby rozpatrzyć przynajmniej w odniesieniu do takich problemów, jak:

1. synteza i wzrost,
2. oddychanie,
3. odporność: a) na niską temperaturę, b) na wysoką temperaturę, c) na suszę,
4. spoczynek roślin.

Ze względu jednak na zbyt szeroki wachlarz problematyki ograniczono się do zagadnień odporności i to przede wszystkim na suszę i niską temperaturę, jakkolwiek w rzeczywistości wszystkie wyżej wymienione procesy są współzależne.

Problem odporności na zimno i suszę wiąże się często z uszkodzeniami spowodowanymi odwodnieniem. Nic więc dziwnego, że wodzie związanej przypisywano w tych procesach duże znaczenie. Pierwsze prace odnośnie wody związanej dotyczyły odporności na niskie temperatury. Newton (1922), Greathouse i Stuart (1934), Grandfield (1943) stwierdzają zgodnie, że u roślin odpornych względnie uodpornionych wzrasta ilość wody związanej. Wielu jednak badaczy odnosi się z rezerwą do wniosku, jakoby większa ilość wody związanej cechowała rośliny odporne; należą do nich: Stark (1936), Levitt (1941), Kramer (1956).

Po uzyskaniu szeregu wyników dotyczących wody związanej i odporności na mróz zaczęto przeprowadzać podobne badania w związku z odpornością na suszę. Newton i Martin (1930), Korstian (1933), Migachid (1945), Szczerbakow (1953), Genkel (1954), Wasiliewa (1954), Aleksiejew (1955) stwierdzają dodatnią zależność między odpornością na suszę a zwiększeniem się wody związanej kosztem wody ogólnej. Tak np. Greathouse (1934) znajduje u koniczyny nieodpornej na suszę 12,5% wody związanej, a u odpornej na suszę 16,7% wody związanej w stosunku do ogólnej. Wyżej przytoczeni autorzy są zdania, że woda związana jest pewniejszym wskaźnikiem odporności niż na przykład stężenie soku komórkowego.

Z zastrzeżeniem do powyższych wniosków wystąpili Maksimow (1929), Whitman (1941), Okuncow i Tarasowa (1952), Levitt (1941), Kramer (1956).

Zastrzeżenie co do znaczenia wody związanej w odporności na niskie temperatury i suszę idą w tym samym kierunku. Autorzy wyżej wymienieni wskazują, że w wielu tkankach roślinnych występuje woda związana (w znacz-

nych ilościach) w błonie komórkowej. Tkanki te jednak nie wykazują zwiększonej odporności. Wobec tego niewielki ma ona wpływ na procesy odpornościowe. Z drugiej strony Maksimow (1929), Sisakjan (1940), Kursanow (1941) a także Briggs i Siminowicz (1953), Kramer (1956) twierdzą, że odporność polega nie na przeciwdziałaniu odwodnieniu, ale na tym, że rośliny wytrzymują znaczne odwodnienie plazmy bez naruszenia jej zdolności do normalnych funkcji życiowych. Podobnie w odporności na suszę. Za odporne uważa Maksimow, a z nim inni, te rośliny, które mogą znieść bardzo silne czasowe odwodnienie bez uszkodzeń plazmy.

Stwierdzenia te dały podstawę do dalszych badań, w efekcie których stwierdzono, że w procesach odporności dużą rolę odgrywa ilość 1) koloidów hydrofilnych (Scarath 1944), 2) azotu białkowego rozpuszczalnego w wodzie (Siminowicz i Briggs 1953) jak również 3) mukoproteidów (Jeremiaf 1956).

Levitt, Crafts, Kramer i inni dochodzą do wniosku, że wiele cech uważanych dotychczas za odpornościowe jest jedynie efektem działania niskiej temperatury bądź suszy, a nie elementami obrony rośliny przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi. Tak więc zmniejszenie ogólnej ilości wody powoduje automatycznie wzrost procentowej zawartości wody związanej w masie pozostałej wody. Ubytek bowiem wody odnosi się wyłącznie do wody wolnej. Sama zaś masa wody związanej albo pozostaje nie zmieniona, albo wzrasta nieznacznie. Efektem tych zmian jest z kolei wzrost lepkości plazmy a zmniejszenie się lepkości strukturalnej (Scarath 1934), wzrost ciśnienia osmotycznego, a tym samym przewodnictwa elektrycznego oraz zmiany w składzie chemicznym, oraz z reguły powiększenie się ilości związków organicznych prostszych, jak cukry i aminokwasy.

Tak więc w bardzo krótkim zarysie kształtowałyby się powiązanie problemu odporności z zagadnieniem wody związanej.

Ze swej strony mam wrażenie, że jakkolwiek wiele jest zarzutów przeciwko znaczeniu wody związanej w odporności roślin, to jednak odgrywa ona w tym procesie doniosłą rolę.

Należy jednak wykluczyć sugestie, że ze wzrostem jej masy czy też procentowej zawartości wzrasta odporność.

Woda związana jest elementem struktury plazmy i w tym tkwi jej zasadnicze znaczenie. Poza tym woda związana umożliwia w warunkach znacznego odwodnienia przebieg najważniejszego procesu, jakim jest oddychanie w czasie działania suszy czy też niskich temperatur, co zasługuje na bardzo mocne zaakcentowanie. Jasne jest bowiem, że roślina dotąd może walczyć z niesprzyjającymi warunkami, dopóki jej struktura plazmy pozwala na wykonywanie swych funkcji. Struktura zaś plazmy może być utrzymywana tylko dzięki stałemu dopływowi energii pochodzącej z oddychania.

Tak więc w efekcie woda związana umożliwia przebieg procesu oddy-

chania w warunkach niedoboru wody. Oddychanie z kolei dostarcza energii potrzebnej dla utrzymania struktury plazmy, co zapewnia organizmowi ciągłość procesów życiowych.

Wyżej przedstawiony zarys procesów fizjologicznych zachodzących w trakcie odwadniania komórki charakteryzuje zasadnicze znaczenie wody związanej w gospodarce energetycznej komórki, a co się z tym wiąże z fizjologicznym procesem odporności.

LITERATURA

- Aleksiejew A. M., 1953, Wlilanije mineralnych udobrienij na wodnij rastienij. Fizj. Rast. 8, 1, 375—379.
- Balcer J. O., Sansun W. D., Woodyat R. T., 1919, Fever and the water reserve of the body. Arch. Int. Med. 24, 116—128 wg Kramera J. Encyclop. of Plant Physiology 1955.
- Bouyoucos G. J., 1917, Measurement of the inctive or unfree moisture in the soil by the dilatometer method. J. Agricult. Res. 8, 195—217.
- Chandler R. C., 1941, Nature of bound water in colloidal systems. Plant Physiol. 16; 273—290.
- Crafts A. S., Currier H. B., Stocking C. R., 1949, Water in the physiology of plants. Waltham, Mass. Chronica Botanica CO.
- Domański P., Wpływ suszy i żywienia azotem na gospodarke wodną jęczmienia (nieopublikowane).
- Foote H. W., Saxton B., 1916, The effect of freezing on certain inorganic hydrogels. J. Amer. Chem. Soc. 38, 588—609 wg Kramera J. Encyclop. of Plant Physiology t. I (1955).
- Genkel P. A., 1956, Diagnostika zasuchoustoicziwosti kulturnych rastienij i sposoby jej powyszenija. Izd. Ak. Nauk SSSR Moskwa.
- Grandfield C. O., 1943, Food reserves and their translocation to the crown buds as related to cold and drought resistance of alfalfa. J. Agricult. Res. 67, 33—47.
- Greenberg D. M. and Greenberg M. M., 1933, Ultrafiltration II «Bound» water (Hydration) of biological colloids. J. Gen. Physiol. 16, 559—569.
- Greathouse G. A. and Stuart N. W., 1934, A study of the physical and chemical properties of red clover roots in the coldhardened and unhardened condition. Maryland Agricult. Exper. Stat. Bull. 370 wg Kramera P. J. Encyclop. of Plant Physiology 1955.
- Korstian C. F., 1933, Physico-chemical properties of leaves and leaf sap as indices of the water relations of forest trees. Ext. Comp. Rend. Congres de Nancy. 1932 de l'Union internationale des Instituts de Recherches forestieres S. 312—325.
- Kramer P. J., 1955, Bound water. Encyklopedia of Plant. Physiology. Springer Verlag 1. 223—240.
- Kursanow A., 1941, Badanie procesów enzymatycznych w żywej roślinie. Advances in Enzymology. Tłumaczenie P. W. i I. Problemy Biochemii, Seria przekładów z. 8, 1952.
- Lewitt J., 1951, Frost, drought and heat resistance, Annual Rev. Plant Physiol. 2, 245—268.
- Maksimow N. A., 1952, Izbrannyje raboty po zasuchoustoicziwosti i zimostokosti rastienij. A. N. SSSR — Moskwa.
- Migahid A. M., 1945, Binding of water in xerophytes and the relation to osmotic pressure. Bull. Fac. Sci. Fouad I Univ. 25, 83—92 z Biol. Abst. 20, 3815, 1946.
- Newton R., Gortner R. A., 1922, A method for estimating hydrophilic colloid content of expressed plant tissue fluids. Sot. Gaz. 74, 442—446.
- Newton R. and Martin W. M., 1930, Physico-chemical studies of the nature of drought resistance iq crop plants. Canad. J. Res. 3, 336—427.

- Okuncow N. N., Tarasowa E. N., 1952, Stan wady w rastieniach. Dokł. Akad. Nauk SSSR 83, 315—317.
- Sayre J. D., 1932, Methods of determining bound water in plant tissue. J. Agricult. Res. 44, 669—688.
- Searth G. W., 1944, Cell physiological studies of frost resistance: a review. New. Phytologist 43, 1—12.
- Simonowitch D., Griggs D. R., 1953, Studies on the chemistry of the living bark of the black locust tree in relation to frost hardiness, IV. Effects of ringing on translocation, protein synthesis and the development of hardiness. Plant Physiol. 28, 177—200.
- Sisakjan N. M., 1940, Biochemiczeskaja charakterystyka zasuchoustoiczywosti. Izd.-two A.N. SSSR.
- Stark A. L., 1936, Unfrozen water in apple shoots as related to their winter hardiness. Plant Physiol. 11, 689—711.
- Stocker O., 1956, Dürresistenz. Incyklopedia of Plant Physiology, III, Springer Verlag 1956.
- Strebyko P., 1956, Woda i światło w życiu rośliny. PWN Warszawa.
- Szczerbakow B. J., 1953, Do zagadnienia o wahanach zawartości wody w liściach roślin w czasie dnia. Dokł. Ak. SSSR 93, 1, 197—200.
- Walter H., 1931, Die Hydratur der Pflanze und ihre physiologische Bedeutung. Jena: Gustav Fischer wg Kramera P. J. Incyklopedia of Plant Physiology 1, 1955.
- Wasiliewa N. G., 1955, O sootnoszenii swobodnoj i swiazanoj wody w listijach rastienij w swiazi s ich zasuchoustoicziwostju. Fizj. Rast. 2, 3, 209—214.
- Whitman W. C., 1941, Seasonal changes in bound water content of some prairie grasses. Bot. Gaz. 103, 38—63.

