

Fizjologiczne granice adaptacji drzew do suszy

Urszula Zajączkowska

Samodzielny Zakład Botaniki Leśnej, Wydział Leśny SGGW w Warszawie,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, urszula_zajaczkowska@sggw.edu.pl

Drzewa rosną wodą. Susza uderza w ten warunek bezpośrednio, na wielu poziomach naraz. To woda w komórkach wytwarza turgor, czyli ciśnienie wewnętrzne, które nadaje wzrostowi siłę, a układ ściany komórkowej i cytoszkieletu nadaje mu kierunek. Liście rozwijają powierzchnię dzięki temu mechanizmowi, a przyrost pędu i przyrost radialny słabną, gdy turgor spada poniżej wartości krytycznych. Dlatego w suszy jednym z pierwszych, wyraźnych sygnałów jest hamowanie wzrostu.

W referacie przyjmuję perspektywę kontinuum gleba-roślina-atmosfera: woda przemieszcza się wzdłuż gradientu potencjału wodnego, a całe drzewo działa jako układ oporów i regulatorów, które w czasie suszy ulegają przebudowie. Strumień wody ostatecznie trafia do atmosfery, jednak to sposób jego poprowadzenia przez tkanki decyduje, jak długo utrzymają się wzrost, transport jonów, uwodnienie komórek i chłodzenie korony, zanim zostaną przekroczone progi bezpieczeństwa hydraulicznego powiązane z ryzykiem śmiertelności.

Najważniejszą przestrzenią, gdzie susza narzuca ograniczenia, jest gleba. Spadek uwilgotnienia obniża jej potencjał wodny, ale równie istotnie zmienia jej właściwości hydrauliczne: rośnie opór przepływu w ryzosferze i na styku gleba-korzeń, przez co woda staje się trudniej dostępna nawet przy wciąż istniejącym gradiencie potencjału. Drzewo reaguje w tej fazie między innymi energochłonną regulacją osmotyczną w korzeniu, akumulując substancje rozpuszczalne obniżające potencjał osmotyczny komórek, co opóźnia moment, w którym droga wody traci ciągłość.

Przewodzenie wody w drewnie odbywa się w jego elementach martwych, lecz zaskakująco stabilność całej drogi zależy w dużej mierze od żywych komórek sąsiadujących z naczyniami i cewkami, zwłaszcza miękiszu drzewnego oraz promieni drzewnych. Tkanki te magazynują węgiel i transportują substancje osmotycznie czynne, uczestnicząc w utrzymaniu uwodnienia i funkcjonalności drewna. W miarę postępu suszy rośnie napięcie w słupie wody, a ryzyko kawitacji i zapowietrzenia przewodów staje się kluczowym ograniczeniem. Kawitacja oznacza utratę ciągłości słupa wody pod dużym napięciem i powstawanie pęcherzyków gazu, które blokują przewodzenie. W wielu przypadkach część zapowietrzonych elementów przewodzących nigdy nie odzyska funkcji transportującej. Wrażliwość układu opisuje między innymi parametr P50, czyli potencjał wodny, przy którym przewodność spada o 50%. W praktyce o przeżyciu decyduje margines bezpieczeństwa hydraulicznego, czyli dystans między minimum potencjału wodnego osiąganym w tkankach a poziomami, przy których przewodzenie zaczyna się gwałtownie załamywać.

Na poziomie korony aparaty szparkowe kontrolują siłę napędową transportu, bo dozują utratę wody i dopływ CO₂, a tym samym regulują tempo wytwarzania napięcia w słupie wody. Strategie bardziej zachowawcze stosunkowo szybko ograniczają transpirację, zwiększając bezpieczeństwo hydrauliczne kosztem asymilacji i dopływu węgla do wzrostu oraz rezerw. Strategie bardziej ryzykowne utrzymują wymianę gazową dłużej, co sprzyja produktywności, ale zbliża system do progów kawitacji. W warunkach skrajnych peryferyjne fragmenty korony, ogonki liściowe i drobne gałęzie są bardziej wrażliwe niż tkanki pnia, dzięki czemu część uszkodzeń koncentruje się na obrzeżach, a główny szlak przewodzenia pozostaje funkcjonalny nieco dłużej. Zrzut części liści i redukcja powierzchni transpirującej ograniczają wówczas straty wody.

Adaptacja drzew do suszy nie jest więc pojedynczą cechą, lecz wielopoziomowym kompromisem między wzrostem napędzanym ciśnieniem wody w komórkach, bezpieczeństwem hydraulicznym i utrzymaniem pobierania dwutlenku węgla. Granice tej adaptacji wyznaczają zarówno możliwości regulacji fizjologicznej, jak i stabilność transportu wody w ksylemie. Po przekroczeniu progów bezpieczeństwa hydraulicznego tempo degradacji układu przewodzącego rośnie, a dalsza kontrola fizjologiczna gwałtownie słabnie. W wielu przypadkach proces ten jest nieodwracalny.