

Dwie połowy tego samego drzewa – im dalej, tym różniej?

Fot. www.stock.adobe.com

Drzewa nie mogłyby rosnąć i rozwijać się bez wykształcenia prawidłowo funkcjonujących organów, przy czym równie istotne okazują się te wytworzone zarówno pod ziemią, jak i ponad jej powierzchnią. Liście oraz korzenie są bowiem organami dostarczającymi substancje równie istotne dla funkcjonowania i wzrostu roślin, będące odpowiednio węglowodanami lub wodą wraz z rozpuszczonymi w niej solami mineralnymi.

Oprócz przyjętej strategii życiowej lub też etapu rozwoju czynniki środowiskowe mogą wpływać na aktywność zarówno części nadziemnej, jak i podziemnej roślin. Ich wpływ będzie zróżnicowany w zależności od organu roślinnego. W przypadku części nadziemnej kluczowego znaczenia nabiera fotoperiod (długość okresów ciemności i światła w cyklu dobowym i rocznym), natomiast temperatura otoczenia w dużej mierze wpływa na wzrost korzeni. Warunki środowiskowe będą zatem odmiennie kształtowały wzory funkcjonalnych zależności pomiędzy pędem a systemem korzeniowym wzdłuż gradientów środowiskowych o zróżnicowanych warunkach świetlnych i temperaturowych. Koordynacja pomiędzy tymi dwiema połowami drzew, w kontekście aklimatyzacji i procesów adaptacyjnych, będzie miała kluczowe znaczenie dla zrozumienia i lepszego przewidywania funkcjonowania ekosystemów strefy lasów borealnych w dobie zmieniającego się klimatu.

Adaptacja do warunków lokalnych

Naturalne populacje gatunków drzew, szczególnie tych o szerokich zasięgach geograficznych, adaptując się do warunków lokalnych, często różnią się wzrostem i jego fenologią, a także np. odpornością na zimno. Wykonywanie badań w miejscach ich naturalnego występowania, pozwala nam określić skalę przystosowania cech do panujących lokalnie warunków środowiskowych. Zakładanie powierzchni proveniencyjnych, tworzonych

z nasion naturalnych populacji zebranych z różnych miejsc w obrębie całego zasięgu gatunku, pozwala z kolei na określenie potencjału adaptacyjnego różnych pochodzeń populacji i transferu nasion najlepszych populacji do miejsc o innych warunkach środowiskowych. Sama ocena przystosowania danej populacji wykonywana jest najczęściej poprzez monitorowanie cech związanych z wydajnością produkcji i przeżywalnością, ponieważ nie zawsze lokalne populacje są najlepsze i charakteryzują się najlepszymi parametrami wzrostu. Jest to szczególnie istotne w świetle zmian klimatycznych. W przeszłości wytyczne dotyczące przenoszenia nasion miały zazwyczaj na celu ograniczenie ich przemieszczania, tak aby zapewnić wykorzystanie lokalnych źródeł podczas zalesiania. Jednakże wraz ze zmieniającym się klimatem przemieszczanie nasion może być konieczne w celu utrzymania rozsądnej zgodności między klimatem ich pochodzenia, a przyszłym klimatem w miejscu sadzenia. Ponadto optymalizacja przyrostów uzyskanych przez sadzenie nielokalnych proveniencji musi być odniesiona do potencjalnej śmiertelności, wynikającej z odmiennych czynników środowiskowych. Badania proveniencyjne są zatem cennym źródłem wiedzy, zarówno dla naukowców, jak i i leśników. Czy jednak możemy/powinniśmy ograniczyć nasze badania tylko do badań proveniencyjnych?

Tego typu badania nie udzielają odpowiedzi na pytania o genetyczną kontrolę cech mierzonych w badaniach proveniencyjnych z uwagi na dużą plastyczność i łatwość do-

stosowania się do lokalnych warunków części cech. Dopiero suma wiedzy uzyskanej w badaniach wykonanych *in situ*, w miejscu pochodzenia proveniencji oraz badań typu *common garden*, pozwala poznać czynniki warunkujące funkcjonowanie drzew w zmieniających się warunkach środowiskowych. Jest to szczególnie ważne w przypadku długo żyjących drzew o dużym znaczeniu gospodarczym i ekologicznym.

Zwiększona masa korzeni sosny

Sosna zwyczajna jest gatunkiem dominującym na dużym obszarze Euroazji. Zasięg gatunku rozciąga się od Morza Śródziemnego do Morza Arktycznego i od zachodniej Hiszpanii po północno-wschodnie obszary europejskiej części Federacji Rosyjskiej i Syberii. Tak rozległy obszar występowania musi wiązać się ze strukturalną i funkcjonalną adaptacją do lokalnych, niejednokrotnie skrajnie różnych warunków środowiskowych. Drzewa przystosowane do chłodnego klimatu wysokich szerokości geograficznych bądź dalekiej Syberii, muszą cechować się krótkim, ale bardzo intensywnym wzrostem pędów (kontrolowane fotoperiodyczne zawiązywanie pąków umożliwia osiągnięcie dojrzałości tkanek przed nadejściem mrozów), podczas gdy korzenie rosną tak długo, jak długo temperatura utrzymuje się powyżej 5°C. Wcześniejsze zaprzestanie wzrostu pędów, przy jednocześnie zachowanej aktywności fotosyntetycznej, pozwala na alokację wytworzonych węglowodanów do systemu korzeniowego, przede wszystkim zwiększa-

jąc produkcję drobnych korzeni absorpcyjnych. Istotnie, w lasach borealnych zarówno alokacja w kierunku wytworzenia drobnych korzeni, jak i utrzymanie ich aktywności, stanowi od 31 do 66% rocznej produkcji pierwotnej netto, w porównaniu do znacznie niższych wartości transferów (ok. 22% lub mniej), osiąganych dla większości lasów w innych strefach klimatycznych.

W północnych populacjach sosny zwyczajnej obserwowana jest tendencja do zwiększania stosunku masy korzeni do pędów, co może służyć kompensacji niskiej dostępności składników pokarmowych w glebie, w regionach cechujących się powolnym przebiegiem procesów dekompozycji i mineralizacji składników pokarmowych. W następstwie, pozwala to na utrzymanie aktywności metabolicznej igieł na poziomie zapewniającym wytworzenie takiej ilości węglowodanów, która jest niezbędna do przetrwania w jakże surowych, północnych warunkach. Zwłaszcza sama efektywność fotosyntezy jest skorelowana z dostępnością pozyskiwanych z podłoża składników pokarmowych. Dla przykładu u sosny, do 38% azotu w igłach jest alokowane w obrębie Rubisco (enzym kluczowy dla przebiegu fotosyntezy, stanowiący ok. 50% wszystkich rozpuszczalnych białek w liściach roślin), przy czym sama wydajność fotosyntezy była zależna od zawartości i dostępności N w glebie. Wysoka biomasa korzeni absorpcyjnych w północnych populacjach sosny zwyczajnej jest zatem istotnym przystosowaniem umożliwiającym osiągnięcie odpowiedniego poziomu składników pokarmowych w igłach. Spływające zatem do korzeni węglowodany z jednej strony służą rozbudowie systemu korzeniowego odpowiedzialnego za poszerzanie obszaru eksploracji gleby, a z drugiej, podtrzymując ich aktywność metaboliczną, umożliwiają efektywną eksploatację nowych źródeł pokarmu. Translokowane węglowodany umożliwiają jednak nie tylko rozbudowę samych korzeni *sensu stricto*, ale także wpływają na pozostające z nimi w związku symbiotycznym grzyby mikoryzowe, a ta symbioza jest ściśła w przypadku korzeni sosny rosnącej w warunkach borealnych. Strukturalne i funkcjonalne właściwości (zdolność do kolonizacji korzeni, wytwarzania ryzomorf, pobierania składników pokarmowych i ich translokacji itd.) grzybów mikoryzowych, pozostających w symbiozie z korzeniami absorpcyjnymi, polepszają zaopatrzenie rośliny w wodę i składniki pokarmowe poprzez penetrowa-

nie większej powierzchni gleby wytworzoną grzybnią ekstraparyfialną składającą się z milionów strzępek. *Suillus bovinus* jest np. w stanie wytworzyć 200 m strzępek na 1 g gleby leśnej. Jednakże nadmiar węglowodanów może być przekazywany nie tylko do związanych z korzeniami grzybów mikoryzowych, ale również bezpośrednio do gleby w postaci eksudatów korzeniowych, stymulujących aktywność metaboliczną (w tym aktywność enzymatyczną) innych mikroorganizmów glebowych. Organizmy takie jak grzyby mikoryzowe i saprotroficzne oraz bakterie, zwiększając rozkład materii organicznej, udostępniają składniki pokarmowe roślinom.

Analiza systemu korzeniowego

Jak wykazały nasze ostatnie badania, rozbudowany system korzeniowy proveniencji sosny pochodzącej z regionów cechujących się krótkim okresem wegetacyjnym, wzrastając w żyzniejszej glebie w warunkach typu *common garden*, odpowiadał za lepsze zaopatrzenie igieł w kluczowe biogeny i wyższą koncentrację azotu (N) oraz fosforu (P). Biorąc pod uwagę słabszy wzrost, wynikający z niższej dostępności N w strefie lasów borealnych, przytoczony wynik świadczy o kluczowej roli rozbudowanego systemu korzeni chłonnego w procesie adaptacji sosen do trudnych, ubogich gleb północnych obszarów jej występowania. Uzyskane wyniki wskazują jednocześnie, że zwiększona alokacja biomasy do korzeni absorpcyjnych, której sprzyja wczesnosezonne zakończenie wzrostu pędów, może być uwarunkowana genetycznie. W warunkach doświadczenia proveniencyjnego, większy udział korzeni chłonnego sosen północnych, prawdopodobnie przyczynia się również do wyższego tempa metabolizmu w igłach. Potwierdzają to wyniki uzyskane w pracy Reich i in., z roku 1996, w której obserwowano wysoką korelację pomiędzy zawartością azotu w igłach a oddychaniem ($P < 0.01$, $r = 0.75$). Jednakże, wykazane w naszej pracy zwiększenie pozyskiwania N i P oraz efektywniejsza fotosynteza w proveniencjach północnych mogą być zniwelowane zmniejszeniem pozyskiwania wody przez płytko umiejscowiony system korzeniowy. Poparcie naszych tez znajdujemy w sygnaturze stabilnych izotopów węgla, sugerującej brak bezpośredniego przełożenia większej biomasy korzeni absorpcyjnych na efektywniejszą transpirację u sosen proveniencji północnych, rosną-

cych w warunkach *common garden* o niższej wartości opadów a wyższych MAT (temperatura średnioroczna, z ang. *Mean Annual Temperature*) od panujących na stanowiskach pochodzenia nasion. Ponadto, biorąc pod uwagę, że wzór wielkości igieł i ich specyficznej powierzchni jest ściśle powiązany z genotypem i utrzymywany nawet po 50 latach wzrostu w warunkach typu *common garden*, ich dostosowanie do zmiennej klimatu może być ograniczone. W konsekwencji w obrębie północnych populacji sosny zwyczajnej może być obserwowany słabszy rozwój i zwiększona śmiertelność zamiast oczekiwanego polepszenia wzrostu. Następstwa takiego stanu rzeczy mogą mieć znaczenie niebagatelne i długoterminowe. Globalnym skutkiem obserwowanych zmian będzie bowiem przesuwanie granicy zasięgu gatunków i wypieranie jednych populacji przez inne, bardziej dostosowane. Analiza cech systemu korzeniowego, choć tak często pomijana czy bagatelizowana, ma zatem zasadnicze znaczenie dla poprawnej interpretacji funkcjonowania części nadziemnych oraz dla kompleksowego zrozumienia funkcjonowania drzew w różnych środowiskach występowania.

Kontrola wzrostu drzew

Opublikowane w „Global Change Biology” wstępne wyniki projektu pt.: „Jak pochodzenie *Pinus sylvestris* wpływa na podziemne procesy?” (NCN 2019/35/B/NZ8/01361), podkreślają znaczenie cech strukturalnych korzeni dla kontroli wzrostu drzew z poziomu igieł i wskazują na potrzebę prowadzenia badań funkcjonalnych powiązań pomiędzy procesami zachodzącymi ponad i pod powierzchnią gleby, szczególnie w różnych gradientach środowiskowych. Prezentowana praca wskazuje ponadto, że istotne informacje dotyczące fizjologicznych i genetycznych podstaw potencjału adaptacyjnego gatunków, mogą być uzyskane tylko dzięki prowadzeniu wieloletnich doświadczeń proveniencyjnych. Zwłaszcza, jeśli wyniki tych badań skonfrontuje się z danymi zebranymi *in situ*. Sosna zwyczajna jest dobrym modelem do badania procesów adaptacyjnych cech drzew wzdłuż rozległych gradientów środowiskowych. 

Joanna Mucha, Marcin Zadworny

Instytut Dendrologii PAN,

Agnieszka Bagniewska-Zadworna

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu