

# O czym mówią igły

Jak zmiany klimatyczne i środowiskowe, które zaszły przez ostatnie sto lat, wpłynęły na sosny rosnące w lasach borealnych? Odpowiedź na to pytanie przynoszą badania przeprowadzone w Szwecji dwukrotnie – w latach 1914–1915 i 2012–2017.

**M**IMO LICZNYCH BADAŃ NA TEMAT ZALEŻNOŚCI MIĘDZY DRZEWAMI A ZMIENIAJĄCYMI SIĘ WARUNKAMI ŚRODOWISKA, nasza wiedza jest wciąż bardzo ograniczona. Nadal niewiele wiemy również o reakcji gatunków drzew o rozległym zasięgu występowania na zmiany klimatu. Gatunki te na południowym obszarze występowania muszą adaptować się do ograniczonej ilości opadów i wysokich temperatur w okresie wegetacyjnym, na północy zaś zmagają się z ograniczonym dostępem składników pokarmowych oraz krótkim okresem wegetacyjnym. Zmiany te mają konsekwencje nie tylko dla drzew, ale i dla funkcjonowania całych ekosystemów, które współtworzą. Wpływ zmian klimatu na lokalizację, skład, strukturę i funkcjonowanie lasów jest szczególnie widoczny w strefie borealnej, a także w warunkach wysokogórskich. Dane potwierdzające te interakcje są jednak nieliczne, a ich interpretację utrudniają liczne sprzężenia zwrotne w układach ekologicznych.

## WADY I ZALETY CHŁODU

Las borealny cechuje się długimi mroźnymi zimami, niską produktywnością i ograniczonym obiegiem składników odżywczych, a także małą różnorodnością dominujących gatunków drzew. Gatunki tam występujące mają szerokie zasięgi geograficzne, co wpływa na genotypowe i fenotypowe zróżnicowanie populacji. Wiemy od dawna, że drzewa wykazują

ekotypowe zróżnicowanie między populacjami, odzwierciedlające wpływ miejsca pochodzenia na ich cechy, np. chemiczne, morfologiczne, fizjologiczne i allometryczne.

Konsekwencją niskiej temperatury gleby w strefie borealnej jest krótki sezon wegetacyjny oraz ograniczony dostęp do składników mineralnych, co wpływa na mniejszy wzrost roślin, który powinien być odzwierciedlany przez konserwatywne cechy zapewniające optymalne wykorzystanie dostępnych składników, np. długi okres życia liści i niskie stężenia składników pokarmowych. Mimo iż wiemy, że różne populacje reagują różnie na zmiany w środowisku, to jednak wciąż nie dysponujemy wiedzą o kompleksowych reakcjach konkretnych gatunków roślin na te zmiany w całym ich zasięgu występowania.

Pozostające pod wpływem środowiska wielkość i metabolizm liści wpływają na funkcjonowanie lasu. U borealnych drzew iglastych warunki ograniczające ich wzrost oddziałują również na związane ze wzrostem cechy igieł, takie jak skrócenie ich długości, wydłużenie długości ich życia bądź zmniejszenie stężenia składników odżywczych. Te modyfikacje z kolei współregulują wzrost drzew. Dlatego zmieniające się w ciągu minionego wieku warunki środowiskowe mogły wywrzeć wpływ na cechy igieł drzew, a w konsekwencji na wzrost lasów i ich produktywność.

## IGŁY PO STU LATACH

Istotne znaczenie w analizie wpływu zmian klimatu na rośliny drzewiaste ma

odniesienie się do danych historycznych. Badania przeprowadzone przez Instytut Dendrologii PAN i współpracowników z partnerskich jednostek naukowych w latach 2012–2017 zostały zainspirowane lekturą opracowania szwedzkiego naukowca Nilsa Sylvéna. Sylvén w latach 1914–1915 zebrał olbrzymią ilość danych biometrycznych igieł sosny w transekcie obejmującym zasięgiem prawie całą Szwecję (ponad 1000 km). Badania te, znacznie poszerzone, powtórzyliśmy po stu latach, analizując materiał z 74 stanowisk położonych w miejscach, w których przed laty dane gromadził Sylvén. Do badań wybraliśmy sosny stuletnie i starsze (średnia wieku drzew wynosiła 150 lat).

Po upływie stu lat średnioroczna temperatura na każdej analizowanej szerokości geograficznej wzrosła o ok. 1 st. C. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w zmianach parametrów igieł sosny w minionym wieku. Jedną z najbardziej wyrazistych zmian w cieplejszym klimacie dotyczyła wydłużenia igieł oraz istotnego skrócenia ich życia. Na przykład w środkowym punkcie transektu (64°N) igły współczesnie rosnących sosen żyją o ok. 1,7 roku krócej, czyli o ok. 31 proc. w porównaniu z okresem, w którym badania prowadził Sylvén. Z kolei ich długość zwiększyła się o 4,7 mm, czyli o ok. 14 proc. w odniesieniu do danych historycznych. Odnosząc się do całego transektu, wykazaliśmy, iż długość życia igieł obniżyła się o ok. 31 proc. w każdym z analizowanych stanowisk, natomiast wzrost długości igieł był niższy na południu transektu (wzrost o 9



proc. na szerokości 59°N) w porównaniu z daleką północą (wzrost o 19 proc. na szerokości 68°N). Gdy zestawiliśmy dane dla każdego okresu oddzielnie, wykazaaliśmy, iż długość igieł i czas ich życia są silnie powiązane z szerokością geograficzną, na której rosły drzewa. Igły drzew rosnących w cieplejszych, zlokalizowanych bardziej na południu stanowiskach były dłuższe i żyły krócej, zarówno w latach 1914–1915, jak i w okresie 2012–2017.


### CO WPŁYWA NA DRZEWA?

Nasze wyniki wskazują na znaczenie temperatury jako czynnika wpływającego na obie analizowane cechy. Generalizując, wpływ temperatury prawdopodobnie obejmuje mechanizmy zarówno bezpośrednie (zależne od temperatury zmiany w przebiegu procesów fizjologicznych), jak i pośrednie (np. zmienność dostępności składników odżywczych w glebie w ekosystemach borealnych wraz ze zmianą temperatury). Potwierdzeniem tego jest wyższy udział korzeni chłonnych, zdolnych pobierać wodę oraz składniki pokarmowe zarówno w materiale

zebranych w transekcie, jak i w doświadczeniu populacyjnym obejmującym proweniencje z dalekiej północy wzrastające w warunkach klimatu środkowoeuropejskiego. Okazuje się, że nie tylko wzrost temperatury w skali stulecia wpłynął na igły sosen, a szczególnie na długość ich życia. Inne czynniki (np. wzrost poziomu atmosferycznego CO<sub>2</sub> z ok. 290–300 ppm w 1915 r. do ponad 410 ppm w 2015 r., gospodarka leśna itp.) także mogą wywierać wpływ na analizowane parametry igieł sosny.

Wiele z obserwowanych przestrzennych i czasowych zmian w cechach igieł jest prawdopodobnie powiązanych ze zmianami we wzroście drzew. Cechy igieł, które przyczyniają się do szybszego wzrostu drzew, są zwykle „wzmacniane” w cieplejszym klimacie. A kiedy drzewa rosną szybciej, co jest typowe dla drzew borealnych w cieplejszym klimacie, częściej zastępują starsze igły nowymi. To z kolei prowadzi np. do zmiany stężenia w nich azotu. Potwierdzają to także wyniki naszych badań. Na przykład w przypadku drzew analizowanych w 2012 r. stwier-

dziiliśmy, iż ich wysokości i szerokości słoju rocznych zmniejszały się wraz ze wzrostem szerokości geograficznej i obniżaniem się temperatury, nie były więc związane ze zmianami ilości opadów atmosferycznych. Szybsze tempo wzrostu drzew w cieplejszych miejscach współgra z potwierdzoną większą długością igieł i krótszą ich żywotnością na badanych stanowiskach. Długość igieł i czas ich życia były istotnie powiązane zarówno z wysokością drzew, jak i ich 30-letnim przyrostem radialnym. Należy jednak pamiętać o silnym powiązaniu między cechami igieł, klimatem i tempem wzrostu drzew, co utrudnia wyodrębnienie ich niezależnego wpływu. Można przypuszczać, iż wyższe temperatury prowadzą do szybszego tempa wzrostu drzew, a przyczynia się do tego większa dostępność składników pokarmowych wpływająca na zwiększenie długości igieł oraz ich szybszą rotację na południu transektu w porównaniu ze stanowiskami z północy. Krótsza żywotność igieł może wskazywać na stresowe warunki ich wzrostu, jednak wiąże się ona z szybszym wzrostem drzew



Jedno z laboratoriów terenowych naukowców z Instytutu Dendrologii PAN i jednostek partnerskich podczas badań w lasach borealnych Szwecji

w korzystniejszych warunkach, w których rośliny mogą „pozwoić sobie” na mniej konserwatywną strategię wzrostu. W takim ujęciu skróconej żywotności igieł nie należy rozpatrywać jako negatywnej reakcji na stres.

### **DŁUŻSZE ŻYCIE CZY KRÓTSZE?**

W ostatnim wieku odnotowaliśmy wzrost koncentracji CO<sub>2</sub> w atmosferze, zwiększenie ilości opadów w strefie borealnej (lokalnie) oraz wzrost zawartości azotu w środowisku. Wszystkie te czynniki przyczyniają się do zwiększonej dynamiki wzrostu drzew. Wzrost depozycji azotu w glebie prowadzi do zwiększenia wzrostu igieł i koncentracji w nich azotu, co może być związane z wydłużeniem się igieł oraz skróceniem ich żywotności. Czy tak jest?

Depozycja azotu w Szwecji nie wzrosła równomiernie: na południu jest ona wyższa, na północy niższa. Gdyby przyjąć, że depozycja azotu jest głównym motorem zmian cech igieł sosny, to na dalekiej północy spodziewalibyśmy się znikomych zmian cech igieł wywołanych wzrostem depozycji azotu, a tak

nie jest. Wzrost koncentracji CO<sub>2</sub> może prowadzić do wzrostu dynamiki przyrostu drzew, a to z kolei do szybszego tempa ich życia. Może także skutkować obniżeniem koncentracji azotu w igłach, a w związku z silną odwrotną zależnością pomiędzy czasem życia igieł a koncentracją w nich azotu wyższe stężenie CO<sub>2</sub> może pośrednio wywołać wzrost, a nie skrócenie długości życia igieł. Zatem zwiększenie koncentracji CO<sub>2</sub> w atmosferze może oddziaływać na okres życia igieł w dwóch kierunkach jednocześnie. Na wzrost drzew – a w konsekwencji na wydłużenie igieł i szybsze ich opadanie – mogło wpłynąć również zwiększenie ilości opadów w Szwecji, jednak takich konsekwencji nie potwierdziliśmy. Uzyskane wyniki zapewne również są efektem zmian w gospodarce leśnej (np. stosowania w odnowieniu lasu lepszego materiału genetycznego), prowadzących do wzrostu produktywności drzewostanów w ostatnim stuleciu.

Jakkolwiek trudno odpowiedzieć na pytanie, który z omawianych czynników ma kluczowe znaczenie dla cech

igieł, oddziałują one bowiem na rośliny kompleksowo, to wzrost temperatury w ostatnim wieku odegrał istotną rolę w tychże zmianach, niosąc ze sobą liczne konsekwencje na poziomie drzew oraz całych ekosystemów. Negatywne skutki globalne zmian klimatu (np. susza, redukcja opadów atmosferycznych, cieplejszy klimat) mogą zniwelować korzyści wynikające z wydłużającego się sezonu wegetacyjnego. Niewykluczone, że te czynniki stresowe doprowadzą do redukcji dynamiki wzrostu drzew, a tym samym np. do zmniejszenia ilości wiązanego w procesie fotosyntezy atmosferycznego CO<sub>2</sub> i jego akumulacji w ekosystemach leśnych.

Omówione badania przeprowadzone zostały w ramach projektu NCN MAESTRO pt. „Geograficzne trendy zmienności cech funkcjonalnych sosny zwyczajnej w Europie w kontekście zmian klimatycznych i procesów ekologicznych” [2011/02/A/NZ9/00108] realizowanego w latach 2012–2019.

JACEK OLEKSYN  
Instytut Dendrologii PAN w Kórniku  
oleksyn@man.poznan.pl