


**mgr inż. Mikołaj
Wawrzyniak**

Zajmuje się biologią spoczynku, przechwalnictwem nasion i ochroną ex situ gatunków drzewiastych. Uczestnik stażów naukowych w Instytucie Juliusa Kühna w Dreźnie i na Uniwersytecie w Tartu, gdzie zajmował się też hodowlą roślin i wpływem zmian klimatu na środowisko. Pracownik Instytutu Dendrologii PAN.
mikwaw@man.poznan.pl

LAS ZACZYNA SIĘ

Rola nasion jest kluczowa w procesach produkcji i rozwoju drzew. To od nich zależy przyszłość lasów. Jaki wpływ na cykl życiowy nasion mają zmiany klimatu? Czy drzewa, które z nich wyrosną, przetrwają i adaptują się do nowego środowiska?

Mikołaj Wawrzyniak
Ewelina Ratajczak
Ewa Kalemba
Paweł Chmielarz

Instytut Dendrologii
Polskiej Akademii Nauk w Kórniku

Lasy zajmują blisko 31% powierzchni lądów – samą liczbę drzew niedawno oszacowano na 3 tryliony (3×10^{18} !). Obecność lasów w naszym śro-

dowisku wnosi istotny wkład w utrzymanie życia na Ziemi, m.in. stanowią źródło utrzymania dla ludzi, zapewniają czyste powietrze i wodę oraz zachowują różnorodność biologiczną. Wiekowy i zróżnicowany gatunkowo las ma możliwość łagodzenia wpływu negatywnych zmian klimatu na funkcjonowanie ekosystemów, nie tylko leśnych. Ochrona istniejącej w lasach bioróżnorodności jest konieczna do zachowania zasobów genowych, zdolnych do zapewnienia ciągłości i trwałości procesów ekologicznych oraz utrzymania różnorodności biologicznej (w tym na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemalnym) dla przyszłych pokoleń.

FREEPIK

OD NASION

Skąd wziąć zróżnicowany gatunkowo las?

Cykl życiowy każdej rośliny zaczyna się od nasion i jest podporządkowany ich wytworzeniu w kolejnych cyklach obradzenia. Jakość, kształt oraz trwałość naszych lasów zależą w dużej mierze od nasion użytych do lasień i odnowień, które są prowadzone głównie przez człowieka. Zbierane są przez leśników ze specjalnie wybranych fragmentów obszarów leśnych (drzewostanów). W świetle obowiązujących regulacji szczególną rolę odgrywają drzewostany zachowawcze, które ze względu na swój wiek uważane są za drzewostany najlepiej zaadaptowane do warunków środowiska panujących na danym obszarze. Mimo to najnowsze doniesienia naukowe potwierdzają spadek kondycji najstarszych drzewostanów oraz zmiany warunków środowiska, wynikające ze zmian klimatu w Polsce i na świecie. Zmiany środowiska, które przebiegają dzisiaj w rewolucyjnym wręcz tempie, mają istotny wpływ na jakość nasion wytwarzanych przez te wiekowe drzewostany, co w przyszłości może doprowadzić do zaniku cennych genotypów i w konsekwencji bardziej radykalnej przebudowy naszych lasów. Jest to problem

szerszy, ponieważ przy silnym wpływie zmian klimatu na nasiona i tym samym reprodukcję długowiecznych drzew, trzeba się liczyć z zanikiem gatunków i genotypów wysoko wyspecjalizowanych, o niskiej zmienności genetycznej i słabej plastyczności fenologicznej.

Przeprogramowanie fizjologii

Mimo swojej, zdawałoby się, prostej budowy (okrywa, tkanka zapasowa i zarodek), nasiona skrywają bogactwo cech przyszłych pokoleń danego gatunku, stanowią klucz do jego adaptacji i przetrwania w zmieniającym się środowisku. Nagłe zmiany zachodzące w ekosystemach stwarzają zagrożenie dla ich jakości, a co za tym idzie – trwałości wielu gatunków roślin w miejscach ich aktualnego występowania. O tym, czy dany gatunek rośliny „wymigruje” w przypadku zaistnienia niekorzystnych dla niego warunków, czy pozostanie na miejscu, decyduje właśnie jego baza nasienna. W wypadku drzew, które nie kończą swojego cyklu życiowego po roku czy dwóch latach, wytworzone nasiona mogą nie nadążyć za zbyt szybkimi zmianami środowiska.

Produkcja nasion przez rośliny drzewiaste zależy od wielu czynników: nasłonecznienia, stosunków



dr hab. Ewelina Ratajczak

Jest specjalistką w zakresie fizjologii i biochemii nasion, zatrudnioną w Instytucie Dendrologii PAN. Naukowo zajmuje się molekularnymi podstawami starzenia się nasion roślin drzewiastych. Bada związki regulujące stan redoks w nasionach, poszukując potencjalnych markerów ich żywotności.

eratajcz@man.poznan.pl





**dr Ewa M.
Kalemba**

Pracowniczka Instytutu Dendrologii PAN. Specjalizuje się w analizach biochemicznych i molekularnych nasion drzew o znaczeniu lasotwórczym. Jej badania dotyczą udziału oksydacyjnych modyfikacji potranslacyjnych białek w regulacji podstawowych etapów rozwoju nasion, takich jak dojrzewanie i kiełkowanie oraz odporności nasion na stres suszy.
kalemba@man.poznan.pl



**dr hab. Paweł
Chmielarz**

Profesor w Instytucie Dendrologii PAN. Prowadzi badania nad długoterminowym przechowywaniem nasion drzew, ich wrażliwością na podsuszenie, kriokonserwacją, epigenetyką oraz mikrorozmnażaniem. Wraz z zespołem skłoniwał metodą in vitro jeden z najstarszych dębów w Polsce. Wyniki jego prac wykorzystywane są w Leśnym Banku Genów Kostrzyca.
pach@man.poznan.pl

wodnych, wiatru, obecności zapyłaczy, występowania chorób i szkodników drzew, z których powstają, ale najważniejsze z nich to temperatura i wilgotność. Te dwa czynniki najsilniej kontrolują wszystkie etapy rozwoju nasion od momentu zapylenia, przez dojrzewanie i spoczynek, po ich skiełkowanie w przyszłości. Do 2100 r. prognozowany jest wzrost globalnej temperatury o kolejne 2°C. Skrajne warunki pogodowe, w tym fale upałów i coraz dłuższe okresy suszy występujące podczas okresu kwitnienia i później, gdy nasiona dojrzewają na drzewie, bezpośrednio wpływają na cechy i jakość wytwarzanych nasion. Zmiany tak niewinne jak plenność, masa czy rozmiar nasion mają wpływ na ich dalszy los. Przykładem może być zmniejszona masa nasion. Mniejsze nasiona łatwiej się rozsiewają, ale tempo i zdolność ich kiełkowania, jak również dalszy wzrost siewek mogą być mocno ograniczone. A to w dłuższej perspektywie wpłynie na całe populacje i struktury ekosystemów. Zaburzenia podczas dojrzewania nasion mogą mieć istotny wpływ na zmiany w trwałości, odporności na wysychanie, a także w fizjologii spoczynku nasion.

Spoczynek nasion oznacza brak kiełkowania w warunkach temu sprzyjających. Jest ściśle związany z klimatem, w którym dana roślina występuje, gdyż kiełkowanie nasion i przeżywalność siewek są zależne od sezonowych zmian pogodowych. W zależności od rodzaju spoczynku czynnikiem przełamującym jego działanie może być uszkodzenie nieprzepuszczalnej okrywy nasiennej (np. u robinii akacjowej), okres ciepła (jak u jesionu wyniosłego) czy też, jak w większości przypadków, niska temperatura (u jabłoni czy buka). Ustąpienie spoczynku umożliwia kiełkowanie w warunkach optymalnych dla wzrostu siewek. Do tej pory warunki środowiska spełniały wymagania nasion, dostarczając jesienią i zimą określoną porcję chłodu, konieczną do ustąpienia spoczynku. Efektywność temperatury w przełamaniu spoczynku fizjologicznego nasion zależna jest od gatunku i może odznaczać się szerokim (0–15°C) lub bardzo wąskim (2–4°C) zakresem. Dziś szacuje się, że w Polsce w zimie będzie znacząco mniej dni z temperaturą poniżej zera, a średnia temperatura w styczniu może wzrosnąć nawet o 5°C. Stanowi to zagrożenie dla nasion wymagających długiego okresu niskiej temperatury, koniecznego do ustąpienia spoczynku. Jeśli nie ustąpi on w danym roku w pełni, nasiona na wiosnę nie skiełkują, choć być może przetrwają szczęśliwie w glebie do kolejnej zimy (tworząc bank nasion). Spośród gatunków drzew o znaczeniu lasotwórczym zagrożone mogą być buk, jesion, grab, jarząb, klon jawor czy też dzięki gatunki owocowe, stanowiące ważną domieszkę biocenotyczną lasów.

Podobnie zmianie może ulec czas kiełkowania nasion nieposiadających spoczynku (np. dębów). Przewiduje się, że kiełkowanie nasion niespoczynkowych będzie przyspieszone, kiedy w chłodniejszych regio-

nach wzrośnie temperatura. Natomiast w regionach suchych stref klimatycznych nasiona poddane działaniu niskiej temperatury będą podejmować kiełkowanie z opóźnieniem z powodu niedostatecznej ilości wilgoci. Istnieje obawa, że zmieniony z powodu zmian temperatury i wilgotności czas kiełkowania nasion nie będzie zsynchronizowany z najkorzystniejszym dla nich momentem sezonu wegetacyjnego. Siewki powstające w cieplejszych miesiącach zimowych nadal będą narażone na cyklicznie powtarzające się zamarzanie i rozmrażanie podczas wczesnowiosennych przymrozków, a przede wszystkim na wzmożoną konkurencję, gdyż umiarkowane ocieplenie będzie sprzyjać kiełkowaniu nasion i wytworzeniu siewek wielu gatunków.

Sam wpływ zmian klimatu na kiełkowanie nasion to problem złożony i wciąż mało zbadany. Jednak ocieplenie klimatu bezpośrednio wpływa na dostępność wody i średnią temperaturę – czyli dwa czynniki, które w głównej mierze kontrolują wzrost i regenerację drzew. Ciepłe środowisko wpłynie korzystnie już na sam proces kiełkowania nasion, ale ekstremalne ocieplenie może przyczynić się do pogorszenia ich żywotności. Kluczowym pytaniem jest to, czy ocieplenie „wypchnie” gatunki daleko poza ich optymalny zakres temperaturowy. Opisuje się dwa scenariusze, pierwszy, w którym niewielka i stopniowa zmiana globalnej temperatury będzie poza, ale ciągle blisko optimum temperaturowego, co spowoduje produkcję większej liczby nasion o zwiększonej masie. Zwiększy to plenność, zdolność kiełkowania nasion oraz przyspieszy dalszy wzrost siewek. W perspektywie nagłego wzrostu temperatury daleko poza optimum rośliny będą produkować małe nasiona w niewielkiej liczbie, których zdolność kiełkowania będzie niewielka, a powstające siewki słabe i nieliczne. Ten negatywny scenariusz ma jeden pozytywny efekt – opisane zdarzenia doprowadzą do zwiększonego rozprzestrzeniania się gatunków.

Adaptacja i ochrona

Procesy rozwojowe drzew, osiągnięcie dojrzałości nasion, przełamanie spoczynku czy kiełkowanie wymagają akumulacji określonej liczby jednostek ciepłych czasu (liczonych w stopniodniach, °D), zliczanych jako suma temperatur efektywnych, koniecznych do ich prawidłowego przebiegu i zakończenia. Modele fenologiczne określają próg termiczny, umożliwiając rozpoczęcie wegetacji oraz liczbę jednostek ciepłych potrzebnych do przejścia do kolejnych faz rozwojowych. Ilość ciepła konieczna do przejść do kolejnych faz rozwoju jest charakterystyczna dla danego gatunku. To, w jaki sposób procesy fenologiczne wpływają na adaptację rośliny, nazywamy zmiennością wewnątrzgatunkową. Zmienność wewnątrzgatunkowa roślin pozwala wypracować im taki plan działania, aby móc w dłuższej perspektywie zaaklimatyzować się do nowego środowiska. Może być rezultatem zarów-

no zróżnicowania genetycznego, jak i wspomnianej plastyczności fenotypowej. Właśnie dzięki tej drugiej zmienności rośliny szybciej dostosowują się do środowiska w porównaniu ze zmiennością zapisaną na poziomie genów. Nasiona gromadzą w swojej pamięci fenotypowej (za pomocą zmian epigenetycznych) historię warunków termicznych, w jakich wyrosły ich rodzice, nakładając na to warunki termiczne, w jakich im samym przyjdzie współistnieć ze środowiskiem po uwolnieniu się od rośliny matecznej. Pamięć termiczna powinna pozwolić nasionom dostosować swoją fenologię kiełkowania do zmian klimatycznych, gdyż wzrastająca temperatura otoczenia może zmniejszyć czas chłodnej stratyfikacji potrzebnej do przełamania spoczynku i kiełkowania nasion. Taka pamięć termiczna utrzymuje się w populacji roślin produkujących nasiona latami i, co więcej, jest obserwowana w kolejnych pokoleniach. Pozwala to przypuszczać, że powolne zwiększenie średnich temperatur w przypadku zmian klimatu może być kompensowane zdolnością roślin do adaptacji. Dotyczy ona jednak populacji najbardziej zróżnicowanych pod względem genetycznym. Odmiany lokalne, najlepiej dostosowane do miejsc występowania, mogą okazać się zbyt wyspecjalizowane i gorzej radzić sobie ze zmianami środowiska. Zabezpieczenie zasobów genowych takich odmian i drzewostanów przed zanikaniem w danym środowisku w dłuższej perspektywie zapewnia większe możliwości adaptacyjne poprzez ochronę bioróżnorodności. W celu ochrony zasobów genowych w warunkach *ex situ* został wybudowany 1995 r. koło Karpacza w Karkonoszach Leśny Bank Genów Kostrzyca. Gromadzone i przechowywane są w nim w kontrolowanych warunkach nasiona nie tylko gatunków drzewiastych, ale także roślin zielnych, krzewinek i większych krzewów tworzących podszyt lasu. To jeden z nielicznych takich banków genów na świecie, gdzie podsuszone do odpowiedniej wilgotności i zamknięte w szczelnych pojemnikach nasiona gatunków leśnych przechowywane są w temperaturze -20°C lub w ciekłym azocie (-196°C).

Wyczuć właściwy moment

Dojrzewające nasiono, które zaraz uwolni się od rośliny matecznej, to nowe życie z o wiele większym potencjałem skutecznej ucieczki od niebezpieczeństw w porównaniu z rodzicami, o dużo większym potencjale przetrwania niż cała roślina. Celem procesów, jakie badają fizjologodzy nasion, jest opracowanie podstawowych modeli, które będą mogły przewidzieć reakcję i strategię nasion w zmieniającym się środowisku w sposób kompleksowy. Z jednej strony stawiamy sobie pytania o kierunek zmian klimatu, z drugiej zastanawiamy się, jak w tych nowych warunkach zmieni się produkcja nasion? Jak daleko będą rozprzestrzeniane od rośliny matecznej? Jak głęboki będzie ich



MARCIN PIETRAS

spoczynek? Kiedy skielkują? Ile siewek ostatecznie wytworzą? Przed naukowcami nasiennikami, biologami roślin i naukowcami zajmującymi się globalnymi zmianami klimatu jest to droga ledwie co rozpoczęta w projektowaniu zmian, jakie mogą wybrać nasiona w reakcji na zmieniającą się sumę temperatur, którą zapisują w sobie nasiona. Przypuszczamy, że podjęte wyzwania pozwolą rozpoznać i opisać krytyczne progi temperatur gromadzonych w krótkim życiu nasion, poza którymi reprodukcja roślin w zmieniającym się środowisku może zostać zaburzona. Wiele wskazuje na to, że mechanizmy fizjologiczno-biochemiczne, jakie posiadają rośliny i nasiona, pozwolą im przetrwać zmiany klimatyczne. Rodzi się pytanie, co z adaptacją drzew, czy stare drzewostany, które nie zaadaptują się do panujących warunków środowiska, są w stanie produkować dobrej jakości nasiona? Nad tym należy się głębiej zastanowić.

Nasiona małe, duże, krnąbrne, uległe, lekkie czy ciężkie... Jak się zmienią w wyniku zmian klimatu?