



**dr hab.  
Joanna Mucha,  
prof. ID PAN**

Specjalizuje się w badaniu oddziaływań korzenie – mikroorganizmy – gleba, poszukując informacji, jak te zależności wpływają na funkcjonowanie drzew. Pracuje w Instytucie Dendrologii PAN.  
jmucha@man.poznan.pl

# RELACJE ROŚLIN Z GRZYBAMI MYKORYZOWYMI

Jaki rodzaj współzależności łączy drzewa i grzyby oraz czy obie grupy organizmów mogą bez siebie przetrwać?

**Joanna Mucha**

Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

**Jolanta Behnke-Borowczyk**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu



**dr hab. Jolanta  
Behnke-Borowczyk,  
prof. UPP**

Specjalizuje się w badaniu zbiorowisk grzybów ekosystemów leśnych ze szczególnym uwzględnieniem patogenów.  
jbehnke@up.poznan.pl

Symbioza jest to jeden z typów oddziaływań, polegający na ścisłym współżyciu co najmniej dwóch organizmów, należących do różnych gatunków. Szczególnym przykładem takiej współzależności jest symbioza mykoryzowa, będąca związkiem korzeni roślin (autotrofów) z grzybami (heterotrofami). Tworzenie symbiozy mykoryzowej jest jednym z najbardziej fascynujących sposobów adaptacji roślin do życia na lądzie.

Rośliny jako producenci pierwotni wiążą węgiel oraz zapewniają schronienie i pożywienie dla niezliczonej liczby organizmów. W zbiorowiskach leśnych dominują gatunki drzewiaste, które mimo rozmiarów i długowieczności nie funkcjonują niezależnie, lecz są otoczone przez różnorodne mikroorganizmy. Wśród nich szczególną rolę odgrywają grzyby. Gatunki patogeniczne mogą być zagrożeniem dla drzew. Jednak ogromna grupa innych grzybów wywiera korzystny wpływ na funkcjonowanie tych roślin i ich stan zdrowotny. Są wśród nich grzyby saprotroficzne, rozkładające martwą materię organiczną i uwalniające składniki pokarmowe, które mogą być pobierane

przez korzenie roślin, a także grzyby mykoryzowe, wchodzące w ścisłą anatomiczno-fizjologiczną relację z rośliną. Historia ewolucji związków symbiotycznych między drzewami i grzybami jest bardzo długa. Istnieją dowody na to, że rośliny zaczęły wykazywać zdolność wchodzenia w symbiozę z grzybami już ponad 450 mln lat temu, a powstanie symbiozy z grzybami i bakteriami wiąże się z ewolucją strategii odżywiania. Priorytetowe znaczenie partnerstwa roślin i grzybów zdaje się potwierdzać choćby fakt, że wśród roślinnych genów są i takie, które kodują białka mające za zadanie „przyzywanie” grzybów w pobliże korzeni.

## Mykoryza, czyli co?

Jest powszechnie występującym zjawiskiem, polegającym na współżyciu korzeni roślin z niepatogenicznymi, wysoce wyspecjalizowanymi grzybami glebowymi. W polskich lasach wszystkie gatunki drzew tworzą związki mykoryzowe. Wśród nich spotykamy gatunki obligatoryjnie mykoryzowe, dla których nawiązanie symbiozy jest warunkiem prawidłowego wzrostu i rozwoju (m.in. buk, dąb, sosna, świerk), oraz fakultatywne, dla których powstanie mykoryzy jest uzależnione od warunków środowiskowych, głównie glebowych (np. brzoza, wierzba, olsza). Najpowszechniejszym typem mykoryzy jest mykoryza zewnętrzna, tzw. ektomykoryza, tworzona na najdrobniejszych korzeniach drzewa. Jej cechą charakterystyczną jest tworzenie tzw. sieci Hartiga, czyli systemu strzępek oplatających komórki miękiszu kory pierwotnej korzeni. W efekcie rozwoju ektomykoryzy powstaje mufka grzybniowa otaczająca korzenie.



Innym typem symbiozy między roślinami a grzybami jest mykoryza arbuskularna (endomykoryza), czyli mykoryza wewnętrzna, w której strzępki wnikają do komórek kory pierwotnej i formują charakterystyczne drzewkowate twory zwane arbuskulami lub grzybowe pęcherzyki. Oba wspomniane typy mykoryz możemy spotkać na korzeniach topoli i wierzby.

Z jednym gatunkiem drzewa wiąże się zazwyczaj wielu grzybowych współników. Garnitur grzybów mykoryzowych zmienia się wraz z wiekiem drzewa. Inne gatunki grzybów odnajdziemy na siewkach, inne na osobnikach młodocianych, jeszcze inne będą towarzyszyć starym drzewom. Wraz ze wzrastającym wiekiem drzew obserwujemy bowiem zjawisko sukcesji mykoryzowej. Zmienia się zarówno skład gatunkowy grzybów, jak i zwiększa liczba gatunków grzybów mykoryzowych. Są też gatunki grzybów, które można znaleźć i na młodych, i na dojrzałych drzewach, bo-

wiem towarzyszą im przez całe długie życie. Niektóre grzyby są ściśle związane ze specyficznymi gatunkami drzew. Kiedy zaopatrzeni w koszyki i koziki wkraczamy do lasu na grzybobranie, maślaków szukamy pod sosną, borowików pod sosną lub świerkiem, koźlarzy w zależności od gatunku w towarzystwie topoli osiki, brzozy, grabu, leszczyny, sosny, a podgrzybków pod świerkiem. Pewne gatunki grzybów są bowiem przypisane do określonego partnera roślinnego. Inne to gatunki kosmopolityczne, mogące wchodzić w alianse z wieloma drzewami.

## Handel wymienny

Mykoryza jest miejscem, w którym dokonuje się „wymiana handlowa” między tworzącymi spółkę przedstawicielami dwóch różnych królestw, roślin i grzybów. Drzewa dostarczają grzybom mykoryzowym potrzebne

Owocnik muchomora czerwonego tworzącego ektomykoryzy z korzeniami drzew

węglowodany, wytworzone w procesie fotosyntezy. Grzyby oferują za to składniki mineralne, hormony, zwiększoną powierzchnię chłonną oraz możliwość penetracji gleby. Dzięki wydzielaniu do ryzosfery odpowiednich enzymów grzyby uruchamiają substancje pokarmowe zawarte w związkach organicznych niedostępnych dla drzew. Grzyby zaopatrują swojego roślinnego współnika przede wszystkim w związki fosforowe i azotowe. Zasięg grzybowych strzępek połączonych z korzeniami drzew jest daleko większy niż obszar zajmowany tylko przez korzenie. Przerastająca głębę grzybnia umożliwia transport związków niezbędnych korzeniom z miejsc od nich odległych, a wraz z wydzielanymi przez strzępki związkami wpływa na stabilizację podłoża, agregację gleby, poprawę jej struktury i żyzności.

Grzyby mykoryzowe umożliwiają również komunikację i transport zasobów między drzewami przez tworzenie podziemnej sieci. Wspólna sieć mykoryzowa (ang. *common mycorrhizae network* – CMN) jest fizycznym połączeniem między roślinami. Powstaje, gdy strzępki grzybów mykoryzowych łączą pod ziemią korzenie wielu roślin tego samego lub różnych gatunków. To swoisty „internet glebowy”, pozwala na wzajemną komunikację między roślinami. Dzięki powstałym „łączom” cukry, związki mineralne czy woda mogą być przenoszone między drzewami. Tą drogą starsze, dojrzałe osobniki mogą wspomagać mniejsze drzewa, np. rosnące w zacienieniu. Jako „zapłatę” za usługi transportowe sieć grzybniaowa zatrzymuje około 30 proc. produktów fotosyntezy wytwarzanych

przez połączone drzewa. Co ciekawe, badanie przeprowadzone na daglezi zielonej na Uniwersytecie w Reading w Anglii wskazuje, że przy przesyłaniu związków węgla są odróżniane wierzchołki korzeni należące do różnych gatunków drzew, w wymianie są faworyzowani krewni i to do nich w pierwszej kolejności są wysyłane związki węgla oraz składniki mineralne. Podziemna sieć mykoryzowa może być także systemem ostrzegania. Łączność za pomocą grzybni służy bowiem roślinom również do informowania się o potencjalnych zagrożeniach.

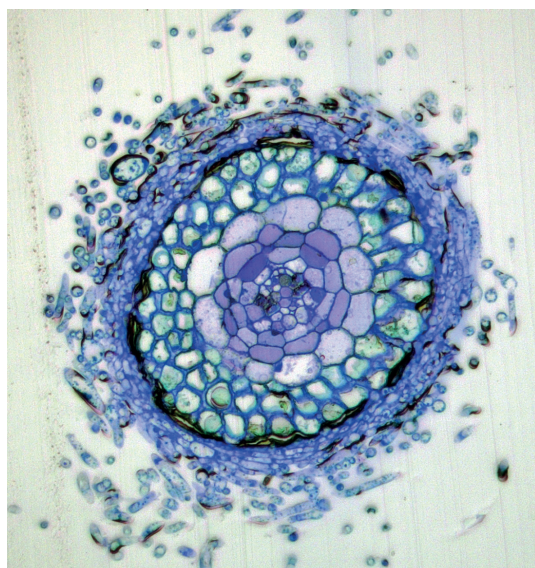
## Grzybowi sprzymierzeńcy

Stresy abiotyczne ograniczają wzrost i rozwój roślin. Działalność człowieka, rozwój przemysłu i eksploatacja surowców, chemizacja rolnictwa przyczyniają się do degradacji środowiska i nasilającego się wpływu stresów abiotycznych na rośliny. Drzewa, których korzenie są skolonizowane przez grzyby mykoryzowe w większym stopniu, zdecydowanie lepiej radzą sobie w niekorzystnych warunkach glebowych, na tzw. gruntach trudnych. Oprócz gruntów porolnych do trudnych terenów należą też tereny leśne w rejonach przemysłowych o podwyższonej i dużej koncentracji zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby, rekultywowane i przekazywane na cele leśne nieużytki poprzemysłowe (hałdy, wysypiska, wyrobiska kopalń odkrywkowych) czy tereny wzdłuż istniejących oraz budowanych autostrad i dróg szybkiego ruchu. Szczególne zagrożenie stanowią metale ciężkie, które już w małych stężeniach mogą negatywnie wpływać na procesy biologiczne zachodzące w glebie oraz w organizmach żywych.

Właśnie grzyby, w tym grzyby mykoryzowe, przyciągają uwagę jako naturalny element ograniczający skutki skażenia. Wzrost i rozwój roślin drzewiastych bez współzycia z partnerami grzybowymi praktycznie nie jest możliwy na zdegradowanych terenach poprzemysłowych, gruntach porolnych czy na tzw. terenach trudno odnawialnych. Ze względu na rozsiewanie zarodników na duże odległości przez wiatr grzyby ektomykoryzowe mają zdolność do rozprzestrzeniania się na terenach zdegradowanych jako pierwsze, w przeciwieństwie do grzybów arbuskularnych, które tworzą zarodniki pod powierzchnią gleby. Grzyby ektomykoryzowe, bardzo często wytwarzając tzw. grzybnię ekstramatrykalną, biorą udział w poprawie jakości gleb. Mają też zdolność do wiązania metali ciężkich w grzybni i ograniczenie ich przenikania do tkanek roślinnych. Wiązanie pierwiastków dzięki pigmentacji grzybni przerastającej głębę stanowi efektywną biofiltrację. Taki swoisty filtr metali ciężkich może stanowić również mufla otaczająca korzeń. Grzyby mykoryzowe mają również zdolności do rozkładania różnych związków chemicznych oraz wytwarzania enzymów redukujących stres związany z nadmiarem

Ektomykoryzy sosny  
zwyczajnej w glebie leśnej





wolnych rodników. Rola mykoryzy niekoniecznie musi polegać na pozbywaniu się metali ciężkich z gleby, ale przede wszystkim na zwiększeniu masy plonu, poprawie warunków glebowych i ochronie roślin przed patogenami. Gatunki grzybów różnią się efektywnością w ochronie drzew na terenach zdegradowanych, skażonych, wykazując różnice w zdolności do detoksyfikacji i akumulacji metali ciężkich oraz skutecznej stymulacji wzrostu drzew i ochrony przed patogenami. Zastosowanie wyselekcjonowanych szczepów grzybów mykoryzowych w inokulacji siewek drzew sadzonych na terenach skażonych może być więc ważnym czynnikiem ułatwiającym zalesienie trudnych siedlisk, a poprawa struktury gleby i zwiększenie zawartości materii organicznej stwarzają warunki do rozwoju innych roślin. Dzięki temu las ma szansę powstać nawet na gruntach, które nie są do tego przystosowane. Zmykoryzowane sadzonki są także odporniejsze i lepiej przystosowują się do niekorzystnych warunków.

## Bezpieczne ekosystemy

Związki mykoryzowe umożliwiają transport wody i składników odżywczych przez grzybnię z miejsc normalnie niedostępnych dla korzeni roślin. Proces ten korzystnie wpływa na funkcjonowanie roślin oraz zwiększa przeżywalność młodych drzew w warunkach suszy. Niedobory wody w glebie zmniejszają intensywność procesów fizjologicznych roślin, w tym fotosyntezę, pobieranie i transport składników odżywczych oraz równowagę hormonalną. W wyniku zaburzeń fizjologicznych jest również uruchamiany stres osmotyczny i oksydacyjny. Jedną ze strategii radzenia sobie ze stresem suszy jest interakcja z grzybami mykoryzowymi, które wspomagają drzewa za pomocą różnych mechanizmów, a jednym z nich

jest zwiększenie powierzchni chłonnej systemu korzeniowego w glebie przez rozwój i rozgałęzienie grzybni ekstrasymetrycznej.

Grzyby mogą stanowić barierę fizyczną, utrudniającą uszkodzenie korzeni przez inne organizmy. Mufka grzybniowa tworzy rodzaj zbroi wokół delikatnych, drobnych korzeni, która wzmacnia i zabezpiecza efektywne pochłanianie przez nie wody. Grzyby mykoryzowe konkurują z gatunkami patogenicznymi o niszę ekologiczną i zasoby pokarmowe. Przez wytwarzanie wtórnych metabolitów, takich jak antybiotyki, czy stymulowanie rośliny do produkcji związków fenolowych grzyby mykoryzowe przyczyniają się do ograniczenia wzrostu i rozwoju grzybów glebowych mogących niekorzystnie wpływać na rośliny. Nawiązanie symbiozy mykoryzowej pozwala na stopniową poprawę stanu zdrowotnego rośliny oraz zmniejsza podatność na infekcje ze strony grzybów patogenicznych takich jak huba korzeniowa czy różne gatunki z rodzaju opieńki. W efekcie są zacho-

Nie możemy mówić o bezpiecznych drzewach bez związków z grzybami mykoryzowymi.

wane odpowiednie proporcje między poszczególnymi elementami środowiska glebowego.

Postępujące zmiany klimatu powodują wzrost różnego rodzaju stresów środowiskowych. Związki roślin z mikroorganizmami, głównie grzybami i bakteriami, pozwalają na radzenie sobie z zagrożeniami takimi jak wzrost temperatury, wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze, susza, pożary, depozycja azotu, zasolenie gleby, wysoka zawartość metali ciężkich, zmieniający się odczyn gleby, zanieczyszczenie powietrza czy zbyt wysoka koncentracja pestycydów. Dlatego ważne jest poszukanie grzybowych sprzymierzeńców, którzy są lepiej przystosowani do zmieniających się warunków środowiska. Różne gatunki grzybów tworzące mykoryzy w różny sposób wpływają na fizjologię drzew. Choć w literaturze można spotkać wyniki badań opisujące negatywne skutki lub brak efektów mykoryzy w odpowiedzi na stresy, np. suszę, zdecydowanie częściej są opisywane badania ukazujące pozytywny wpływ symbiozy mykoryzowej na rośliny. Oddziaływanie między drzewami a grzybami mykoryzowymi jest niezwykle istotne dla złagodzenia skutków zmian klimatu, co będzie się przekładać na występowanie stabilnych i bezpiecznych ekosystemów leśnych. ■

Przekrój przez zmykoryzowany korzeń dębu bezszypułkowego z widoczną mufką grzyba otaczającą korzeń

Chcesz wiedzieć więcej?

Brundrett M.C., Tedersoo L., *Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity*, „New Phytologist”, 2018.

Cosme M., *Mycorrhizas shape the evolution of plant adaptation to drought*, bioRxiv, 2022.

Policelli N., Horton T.R., García R.A., Naour M., Pauchard A., Nuñez M.A., *Native and non-native trees can find compatible mycorrhizal partners in each other's dominated areas*, „Plant and Soil”, 2020.