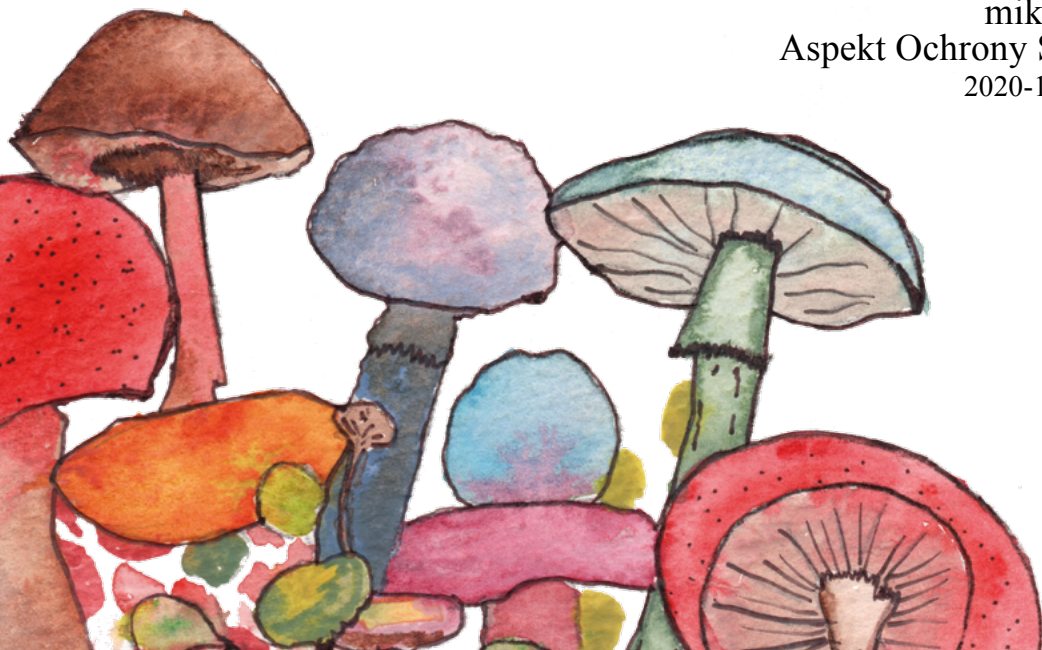




FUNICE

**SPECJALISTYCZNY PODRĘCZNIK
WYKORZYSTANIA MIKORYZY**

Rolnicze wykorzystanie dobroczynnych mikroorganizmów w
Aspekt Ochrony Środowiska Projekt (FUNICE)
2020-1-FR01-KA202-079874





FUNICE

SPECJALISTYCZNY PODRĘCZNIK WYKORZYSTANIA MIKORYZY

Rolnicze wykorzystanie dobroczynnych
mikroorganizmów w
Aspekt Ochrony Środowiska Projekt (FUNICE)
2020-1-FR01-KA202-079874



Projekt współfinansowany w
ramach programu Unii Europejskiej
„Erasmus+”



Niniejsza publikacja odzwierciedla jedynie poglądy autora, a Komisja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie zawartych w niej informacji.





FUNICE





FUNICE

Autorzy

Association de Développement Rural International du Bas Ségala, Francja

Balıkesir Üniversitesi, Turcja

Karesi Belediyesi, Turcja

Fundación Universitat Jaume I – Empresa, Hiszpania

GROWTH Coop., Hiszpania

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roslin Panstwowy
Instytut Badawczy Zakład Doswiadczalny Grodkowice, Polska

Stowarzyszenie ARID, Polska

Redaktor: Pınar Derya Akyazgan, MBA

Ilustrator: Işıl Sezen Kahyaoğlu

Grafik: Duru Uçak





FUNICE

Przedmowa

FUNICE Podręcznik Eksperta to innowacyjne treści edukacyjne opracowane w celu wykorzystania “mikorzyzy” jako pożytecznych mikroorganizmów w rolnictwie. Opracowany przez 7 instytucji: z Francji, Hiszpanii, Polski i Turcji, podręcznik ten jest projektem “ Rolnicze wykorzystanie mikroorganizmów korzystnych dla środowiska” w latach 2020-2023 w ramach finansowanego przez UE Programu Erasmus podprogramu “KA202 - Partnerstwa strategiczne na rzecz kształcenia zawodowego”. Jest jednym z intelektualnych produktów (FUNICE).

Instytucje partnerskie projektu to Association de Développement Rural International du Bas Ségala (Koordynator) z Francji, Balıkesir University, Karesi Municipality z Turcji, Fundación Universitat Jaume I - Empresa i GROWTH Coop z Hiszpanii, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roslin Państwowy Instytut z Polski Badawczy Zakład Doswiadczalny Grodkowice i Stowarzyszenie ARID.

Podręcznik, który skierowany jest do społeczności lokalnych zaangażowanych w ekologiczną produkcję żywności, pomoże zoptymalizować rolnictwo ekologiczne, utrzymać zrównoważony rozwój i zmniejszyć zużycie pestycydów. Podczas uzasadnienia projektu FUNICE, badania wykazały, że brak wiedzy i technologii stosowania był powszechny u rolników. Również brak wiedzy dotyczył tematu rozwoju produktów mikrobiologicznych jako bio-nawozów, co jest przedmiotem projektu FUNICE; Istnieje również brak wiedzy wśród decydentów i nauczycieli, którzy szkolą przyszłych rolników w ogóle. Treść tego podręcznika została odpowiednio dostosowana. Współpraca międzynarodowa, która składa się na projekt FUNICE, pomaga wypełnić tę lukę, zachęcając do rozwoju gatunków mikroorganizmów, które mogą być uważane za bio-nawozy, co może mieć znaczenie w zmieniających się warunkach klimatycznych, poprzez umożliwienie wymiany doświadczeń w rozwiązywaniu problemów. W świetle tych wszystkich powodów i celów, niniejszy podręcznik został przygotowany w ich lokalnych językach (francuskim, angielskim, hiszpańskim, polskim i tureckim), aby podzielić się z rolnikami podstawowymi informacjami na ten temat.



FUNICE

Przedmowa

Podręcznik FUNICE składa się z 6 rozdziałów:

- Wprowadzenie do nawozów
- Mikoryza i jej właściwości
- Praktyczne aspekty i zalety stosowania mikoryzy
- Metody produkcji mikoryzy
- Jak prawidłowo stosować mikoryzę w produkcji roślinnej?
- Studia przypadków na temat mikoryzy

Na końcu każdego rozdziału znajdują się sekcje testów oceniających, które pomagają czytelnikowi w przyswojeniu tematów. W książce informacje akademickie przekazywane są prostym i zrozumiałym językiem, natomiast badania terenowe trafiają do rolników i nauczycieli; Ponadto do książki przygotowano specjalne ilustracje (rysunki), które przyciągają uwagę czytelnika.

Kolejnym dorobkiem intelektualnym projektu FUNICE jest Otwarty Zasób Edukacyjny (OZE), platforma e-learningowa z wolnym dostępem. Cyfrowa wersja podręcznika FUNICE oraz inne materiały szkoleniowe (e-kursy) uzupełniające ten podręcznik są dostępne bez żadnych opłat na stronie projektu pod adresem: www.funice.eu

01.02.2023

Pınar Derya Akyazgan
Koordynator projektu
ADRIBS, France

SPIS TREŚCI

MODUŁY	STRONA
MODUŁ 0 Wprowadzenie do nawozów	7
MODUŁ 1 Mikoryza i jej właściwości	25
MODUŁ 2 Praktyczne aspekty i zalety stosowania mikoryzy	39
MODUŁ 3 Metody wytwarzania mikoryzy	55
MODUŁ 4 Jak prawidłowo wykorzystać mikoryzę w produkcji roślinnej	69
MODUŁ 5 Studia przypadków związane z mikoryzą	79
Klucz Odpowiedzi	85





MODUŁ 0
Wprowadzenie do nawozów



0.1. Oborniki i nawozy

Czym są nawozy i do czego służą? Nawozami nazywamy substancje, które w swoim składzie zawierają składniki pokarmowe wykorzystywane przez rośliny do prawidłowego wzrostu i rozwoju. Rośliny uprawne potrzebują zarówno makroelementów - azot, fosfor, potas, wapń, magnez, siarka, jak i mikroelementów - żelazo, bor, miedź, mangan, cynk, molibden, chlor. Nawozy dostarczane są roślinom poprzez zastosowanie zabiegów nawożenia gleby. Cel stosowania nawozów:

- zwiększenie jakości i wysokości plonów
- zwiększenie zasobności gleb w składniki pokarmowe oraz poprawa jej właściwości fizycznych, chemicznych, fizykochemicznych i biologicznych.

Nawozy można podzielić na kilka grup:

- nawozy organiczne (naturalne)
 - o pochodzenia roślinnego (kompost, słoma, nawozy zielone)
 - o pochodzenia zwierzęcego (obornik, gnojowica, gnojówka)
- nawozy mineralne (sztuczne)
 - o jednoskładnikowe (azotowe, fosforowe, potasowe, wapniowe)
 - o wieloskładnikowe (nawozy azotowo-potasowe, fosforowo-potasowe, azotowo-fosforowo-potasowe)
- nawozy organiczno-mineralne - mieszaniny nawozów mineralnych i organicznych



0.1.1. Nawozy organiczne (nawozy naturalne)

Powstają wskutek rozkładu szczątków roślinnych i zwierzęcych oraz odchodów zwierząt gospodarskich. Zazwyczaj cechują się niską zawartością składników pokarmowych i długim okresem działania. Pobierane są przez rośliny najczęściej w formie zmineralizowanej powstałej w skutek toczących się w glebie procesów biologicznych, fizycznych i chemicznych. Nawozy naturalne stosowane są w przede wszystkim w rolnictwie ekologicznym podczas produkcji zdrowej żywności. Użycie nawozów organicznych wpływa korzystnie na strukturę i właściwości gleby, a to dzięki poprawie stosunków wodno-powietrznych i zdolności do gromadzenia składników pokarmowych, zmniejszeniu zakwaszenia oraz zwiększaniu zawartości substancji organicznej (próchnicy).

Kompost należy do grupy nawozów organicznych pochodzenia roślinnego. Posiada dużą zawartość składników pokarmowych, wpływającym korzystnie na żyzność i stosunki wodno-powietrzne gleby oraz zawartość próchnicy. Kompost powstaje w wyniku częściowego tlenowego rozkładu przemieszanych z ziemią szczątków roślinnych i zwierzęcych. Bardzo łatwo otrzymać go w warunkach domowych – wystarczy zgromadzić na przymie kompostowej m.in. trawę, części roślin, obierki, skorupki jajek, odchody zwierząt - pod wpływem mikroorganizmów glebowych resztki te zostaną przetworzone na kompost.

Słoma to głównie suche łodygi, liście, puste łuszczyzny i strąki, które są znaczącym źródłem makroelementów i mikroelementów. Rozrzucenie rozdrobnionej słomy, a następnie jej przyoranie zwiększa zawartość składników pokarmowych i próchnicy w glebie co jest niezbędne dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin.

Nawożenie zielone polega na wysiewie a następnie zaoraniu głównie roślin strączkowych tj. lucerna, łubin, seradela, groch, soczewica. Korzyścią takiej metody jest poprawienie struktury gleby, wzbogacenie w próchnicę i dostarczenie roślinom składników pokarmowych – przede wszystkim azotu związanego z powietrza przez bakterie brodawkowe, które żyją w symbiozie z roślinami strączkowymi.

Obornik to nawóz organicznych pochodzenia zwierzęcego. Składa się z mieszaniny odchodów zwierzęcych – najczęściej odchodów bydła, ale również świń drobiu i koni, przefermentowanego moczu oraz ściółki, na której hodowane są zwierzęta (najczęściej jest to słoma zbożowa). Zastosowanie obornika dostarcza przede wszystkim składników pokarmowych takich jak azot, fosfor, potas, magnez, wapń, czyli makroelementów. Podobnie jak pozostałe nawozy organiczne stosuje się go w celu zwiększenia żyzności gleby i poprawy jej struktury. Często używa się go do nawożenia roślin wykazujących długi okres wegetacji.



Gnojowica nazywana jest także obornikiem płynnym. Jej składnikami jest przefermentowany mocz i odchody zwierzęce oraz woda. Różni się od obornika brakiem zawartości ściółki. Stanowi źródło azotu i potasu. Podobnie jak obornik stosowana jest w nawożeniu roślin o długim okresie wegetacji i wysokich wymaganiach azotowych. Stosuje się ją także przy nawożeniu użytków zielonych.

0.1.2. Nawozy mineralne (nawozy sztuczne)

Produkowane są w drodze przemian chemicznych, fizycznych lub przerobu surowców mineralnych. W przeciwieństwie do nawozów organicznych stanowią grupę nawozów wysokoprocenowych ponieważ zawierają wysokie dawki składników pokarmowych. Przeważnie występują w formie granulatów lub proszków o określonym składzie, ale znane są nawozy sztuczne w formie płynnej. Głównym substratem do ich produkcji są:

- kopaliny (apatyty, fosforyty, skały wapienne)
- odpady przemysłu hutniczego (popioły, pyły)
- odpady pochodzenia zwierzęcego (kości)
- wytwarzane również w drodze syntezy chemicznej w zakładach chemicznych.

Zawarte w nawozach sztucznych związki chemiczne są pobierane przez rośliny w różny sposób. Część nawozów ma bardzo szybkie działanie, a związki chemiczne są pobierane bezpośrednio po aplikacji. Do nawozów szybko

działających należy m.in. azotan amonu. Pozostała część związków chemicznych pobierana jest jako produkty przemiany np. mocznik, który jest nawozem wolno działającym.

Nawozy mineralne podzielić można na:

- jednoskładnikowe – zaopatrują roślinę w jeden, określony składnik pokarmowy
- wieloskładnikowe – zawierają więcej niż jeden składnik pokarmowy.

Do nawozów jednoskładnikowych zalicza się przede wszystkim nawozy azotowe, które zawierają azot w różnych postaciach:

- jonów amonowych (NH_4^+) (saletra amonowa NH_4NO_3)
- jonów azotanowych (NO_3^-) (saletra sodowa NaNO_3)
- grup amidowych (azotniak CaCN_2 , mocznik $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$)

Fosfor w nawozach fosforowych dostępny jest w postaci jonów fosforanowych (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) (superfosfat $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$) natomiast potas w nawozach potasowych w postaci jonów potasu (K^+) (chlorek potasu KCl , siarczan potasu K_2SO_4)



Nawozy wapniowe dostarczają roślinom jonów wapnia (Ca^{2+}), korzystnie wpływają na odczyn gleby poprzez neutralizację kwaśnego odczynu.

Nawozy jednoskładnikowe stosowane są w celu dostarczenia roślinom makroelementów. W rolnictwie stosuje się również nawozy wieloskładnikowe które są mieszaniną składającą się kilku związków chemicznych. Najczęściej używane są nawozy azotowo-potasowe, fosforowo-potasowe, azotowo-fosforowo-potasowe.

Stosowanie nawozów mineralnych niesie ze sobą zarówno skutki pozytywne jak i negatywne. Pozytywnym aspektem jest uzupełnienie niedoborów składników pokarmowych niezbędnych roślinie czy też polepszenie odczynu gleby. Do negatywnych skutków przenażenia zaliczyć należy zmniejszenie żywności gleby ze względu na nadmierne zasolenie i zakwaszenie oraz zanieczyszczenie wód powierzchniowych.

0.2. Gleba i jej znaczenie w rolnictwie

Czym jest gleba i dlaczego jest tak istotna dla życia na ziemi? Gleba stanowi najbardziej zewnętrzną warstwę skorupy ziemskiej. Charakteryzuje się żyznością i bierze udział w produkcji biomasy roślin, pośrednio także zwierząt. Gleba jest jednym z tworów przyrody, w którym nieustannie zachodzą procesy rozkładu, syntezy przemiesz-

czania i akumulacji związków organicznych i mineralnych. Tworzenie się gleby zawsze rozpoczyna się od wietrzenia skały macierzystej. Dzięki procesom wietrzenia fizycznego możliwe jest zatrzymywanie wody co konieczne jest do osiedlenia się organizmów i wytworzenia korzeni. W procesie wietrzenia chemicznego następuje uwolnienie z form niedostępnych dla roślin składników mineralnych. Skutkiem wietrzenia chemicznego jest również powstanie minerałów wtórnych, dzięki czemu w zwietrzelinie gromadzone są składniki pokarmowe. Początkowo na szybkość powstawania gleby ma wpływ skała macierzysta – jeżeli jest zasadowa szybciej ulega wietrzeniu, jeżeli kwaśna proces wietrzenia trwa znacznie dłużej. W kolejnych etapach rozwoju gleby zasadnicze znaczenie zaczynają mieć inne czynniki – zewnętrzne czynniki glebotwórcze tj. organizmy roślinne i zwierzęce, klimat, ukształtowanie terenu, hydrosfera i oczywiście człowiek czyli czynnik antropogeniczny. Podsumowując gleba stanowi mieszanek minerałów martwych i żywych organizmów, powietrza oraz wody. Te składniki reagują ze sobą dzięki czemu gleba stanowi jeden z najbardziej dynamicznych i ważnych zasobów mineralnych. Jakość gleby zależy od wielu jej fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych właściwości. Mikrobiologiczne i biochemiczne właściwości uważane są za najbardziej dynamiczne i czule na wszelakie zmiany zachodzące w glebie. Powszechnie wiadome jest że mikroorganizmy, drobnoustroje są przyczyną 80-90% procesów zachodzących w glebie, a ich ilość zależna jest



m.in. od systemu uprawy. Poznanie wszystkich czynników wpływających na ilość i działanie mikroorganizmów jest niezbędne do zachowania gleby w odpowiedniej kondycji, ponieważ to właśnie mikroorganizmy są odpowiedzialne za proces degradacji i transformacji materii organicznej oraz dostępność składników pokarmowych dla roślin. Zatem jasne staje się, że im większa aktywność i różnorodność drobnoustrojów tym lepszy wpływ pozytywny na jakość i produktywność gleby.

Gleba oraz przyziemna część atmosfery stanowią siedlisko dla roślin, zwierząt i oczywiście człowieka. Spełnia wiele funkcji w procesie życia na ziemi, wymienić można m.in.:

- dostarczanie surowców budowlanych
- dostarczanie surowców do produkcji odzieży
- dostarczanie żywności roślinnej
- dostarczanie żywności zwierzęcej
- funkcje w krążeniu pierwiastków
- funkcje w kształtowaniu przestrzeni życiowej roślin, zwierząt i ludzi
- funkcje w kształtowaniu krajobrazu
- funkcje w obiegu, retencji i filtracji wody
- funkcje w ochronie dziedzictwa kultury materialnej ludzkości
- funkcje w ochronie zdrowia człowieka i leczeniu chorób
- funkcje w sanitarnym bezpieczeństwie ludności

Gleba jest podstawowym warsztatem gospodarstwa. Wartość i przydatność gleby do celów uprawowych jest efektem na który składa się skała macierzysta i procesy glebotwórcze, dlatego gleba powstała na skałach macierzystych wskutek brunatnienia jest znacznie lepsza niż powstała na tej samej skałce wskutek bielnicowania. Wartość i urodzajność gleby jak widać zależą nie tylko od skały macierzystej, ale również stopnia jej przeobrażenia. Jest wiele innych czynników, od których zależy jakość gleby są nimi zawartość i jakość materii organicznej martwej będących źródłem substancji odżywczych i czynnikiem wpływającym na strukturę gleby. Wartość gleby oceniana jest też przez pryzmat zdolności do gromadzenia i oddawania wody roślinom, co związane jest z jej uziarnieniem i strukturą oraz wymiany powietrza pomiędzy glebą i atmosferą – zapewnienie tlenowych warunków życia.

Najważniejsze zagrożenia gleby:

- monokultury rolnicze - zubożenia gleby,
- wycinanie lasów i pożary - erozja gleby i pustynnienie obszaru,
- osuszanie terenów i regulacja rzek - spadek poziomu wód gruntowych,
- nadmierne nawożenie,
- niewłaściwie składowanie ścieków i odpadów,
- intensywny wypas bydła,



- stosowanie chemicznych środków owadobójczych, chwastobójczych i grzybobójczych,
- zajmowanie obszarów rolniczych pod przemysł i zabudowę.

Wymienione zagrożenia gleby mogą być przyczyną utraty środowiska życia dla wielu roślin i zwierząt, a w konsekwencji ich zagłady. Powodują także zaburzenia w funkcjonowaniu ekosystemów, zakłócając równowagę biologiczną. Gleba wyjałowiona, osuszona, zanieczyszczona i otruta jest biologicznie martwa. Koszty i straty wynikające ze spadku w glebie różnorodności biologicznej, która oznacza nie tylko różnorodność genów, gatunków, ekosystemów bądź funkcji, lecz także potencjał metaboliczny danego ekosystemu są trudne do oszacowania.

Do tego, że warto i trzeba dbać o glebę nie trzeba nikogo przekonywać. Jednak jak to bywa w życiu łatwo powiedzieć trudniej wykonać. Choć jak się okazuje zabiegi poprawiające stan gleby i chroniące ją wcale nie należą do kosztownych i trudnych. W celu utrzymania na odpowiednim poziomie, bądź poprawieniu stanu gleby wystarczy w trakcie uprawy zadbać o prawidłowe przeprowadzanie zabiegów agrotechnicznych, stosowanie płodozmianu, wapnowanie gleb, zakwaszonych, odpowiednie rozmieszczenie użytków zielonych oraz przeciwdziałanie erozji. Jeżeli gleba jest już zdewastowana warto podjąć działania służące rekultywacji tego terenu.



0.3. Składniki pokarmowe w rolnictwie. Makro i mikroelementy (nawozy naturalne i syntetyczne)

Uprawa roślin jest skomplikowanym i złożonym z wielu etapów procesem. Wymaga od rolnika obszernej wiedzy odnośnie zjawisk występujących w naturze jak, i zadań, które powinien wykonać, aby zapewnić roślinie optymalne warunki do prawidłowego rozwoju i wzrostu. Naturalne czynniki kształtujące wysokość uzyskiwanego plonu to między innymi dostępność wody, temperatura czy światło. Zadania, jakie stoją przed plantatorem to zapewnienie odpowiedniego odczynu gleby, właściwej struktury, przynajmniej średniej zasobności w składniki pokarmowe oraz wysokiej aktywności mikrobiologicznej w glebie. Jak wspomniano rośliny do prawidłowego wzrostu i rozwoju potrzebują wody, dwutlenku węgla i światła, które są niezbędne do przeprowadzenia procesu fotosyntezy. Oprócz tych składników funkcjonowanie roślin zależy od pierwiastków pobieranych z gleby, powietrza i wody. Łącznie wyróżnić można kilkadziesiąt takich pierwiastków, których obecność stwierdza się w suchej masie roślin. Pierwiastki występują w roślinach w różnych ilościach w zależności od gatunku, jednak wszystkie które występują w większej ilości nazywamy makroelementami. W roślinie pełnią one funkcję budulcową oraz regulującą procesy biochemiczne zachodzące w roślinach. Niedobór tych składników jest szczególnie niebezpieczny dla roślin ponieważ prowadzi do zaburzeń w procesie fotosyntezy, a

przy znacznych niedoborach nawet do zamierania roślin. Oceniając znaczenie danego pierwiastka dla rośliny nie można sugerować się jedynie jego ilością lecz jakością. Dzięki temu pierwiastki można podzielić na takie, które są dla roślin niezbędne i te które są „jedynie” korzystne – czyli makro i mikroelementy. Nie wszystkie znajdujące się w roślinach pierwiastki, które zostały przez nie pobrane są dla nich niezbędne, czy nawet korzystne - część z nich to pierwiastki toksyczne. Pojawienie się tych pierwiastków w roślinie wynika z tego, że rośliny posiadają tylko ograniczone możliwości do selektywnego pobierania mineralnych składników z podłoża, dlatego też w warunkach zanieczyszczenia gleb np. metalami ciężkimi pierwiastki te również są przez nie pobierane.

0.3.1. Makroelementy

Wszystkie pierwiastki występujące w większych ilościach w organizmach nazywane są makroelementami. Jest to grupa pierwiastków, której zawartość w suchej masie przekracza 0,1%. Do podstawowych makroelementów należą tzw. pierwiastki biogenne:

węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarka (S) i fosfor (P). Stanowią podstawowe składniki związków organicznych takich jak białka, lipidy i węglowodany. Pozostałe makroelementy to wapń (Ca), magnez (Mg), potas (K).



Przykładowe skutki niedoboru makroelementów:

- Azot
 - o zahamowanie wzrostu i kwitnienia
 - o chloroza liści
- Siarka
 - o zahamowanie syntezy chlorofilu
 - o zahamowanie wzrostu
 - o chloroza liści
 - o utrata turgoru
 - o czerwone zabarwienie nerwów liściowych
- Wapń
 - o zakłócenia gospodarki wodnej
 - o zaburzenia w budowie i funkcjonowaniu błon plazmatycznych
 - o chloroza liści
 - o zahamowanie wzrostu z deformacją liści
- Magnez
 - o nekroza brzegów liści
 - o zahamowanie fotosyntezy
 - o chloroza liści
- Potas
 - o utrata turgoru komórek
 - o nekroza brzegów liści
 - o zahamowanie wzrostu
- Fosfor
 - o zahamowanie fotosyntezy i wzrostu
 - o pociemnienie liści

0.3.2. Mikroelementy

Rolą mikroelementów jest uczestnictwo w procesach enzymatycznych, regulacyjnych. Mikroelementy jako składniki lub aktywatory enzymów uczestniczą w wielu reakcjach metabolicznych oraz spełniają bardzo ważne funkcje fizjologiczne w roślinach, m. in. decydują o efektywnym wykorzystaniu azotu, fosforu i innych składników pokarmowych, przez co wpływają na wielkość i jakość plonu roślin. Dobrze zaopatrzenie roślin w mikroelementy stymuluje wydajność procesów fotosyntezy, kontrolę gospodarki azotowej roślin oraz zwiększenie odporności roślin na patogeny.

Objawy niedoboru mikroelementów:

- Chlor
 - o łatwa reutilizacja
- Żelazo
 - o chloroza całych liści młodych,
 - o bardzo mała reutilizacja
- Cynk
 - o zahamowanie wydłużania międzywęźli,
 - o redukcja powierzchni blaszek liściowych,
 - o jasnozielone przebarwienia liści starszych
- Mangan
 - o mozaikowa chloroza,
 - o nekroza międzyżyłkowa,
 - o niekiedy smugowate plamy,



- o zahamowanie wzrostu,
- o opadanie liści,
- o mała reutilizacja
- Bor
 - o nekroza wierzchołków wzrostu pędu i korzeni,
 - o liście kruche, zamieranie kwiatów,
 - o brak zawiązywania owoców,
 - o nekrozy floemu,
 - o mała reutilizacja międzyorganowa
- Miedź
 - o nekrotyczne plamy,
 - o niebieskozielonawa barwa liści,
 - o czasem brak turgoru,
 - o zaburzenia w formowaniu organów generatywnych
- Molibden
 - o redukcja rozwoju blaszki liściowej,
 - o chloroza liści młodych,
 - o deformacja pędu,
 - o zahamowanie brodawkowania i wzrostu roślin motylkowatych

Zrównoważone nawożenie roślin polega na dostarczaniu roślinie odpowiedniej ilości składników pokarmowych, zarówno makro jak i mikroelementów. Składniki te są niezbędne dla ich właściwego wzrostu i rozwoju niezależnie od ilości jaka jest pobierana przez rośliny. Przed zastosowaniem konkretnego nawożenia niezbędne jest określenie zapotrzebowania danej rośliny na konkretny pierwiastek oraz wykonanie analiz chemicznych gleby w celu uzyskania informacji ile tych składników już znajduje się w glebie. Poniższa tabela przedstawia zapotrzebowanie wybranych roślin na makro i mikroelementy w przeliczeniu na 1 tonę plonu.

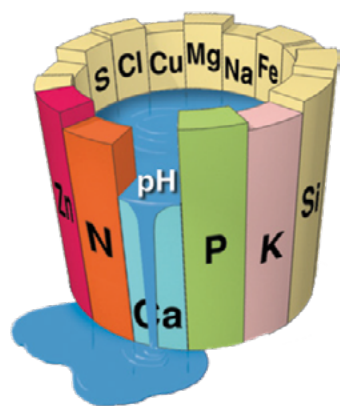
waniem konkretnego nawożenia niezbędne jest określenie zapotrzebowania danej rośliny na konkretny pierwiastek oraz wykonanie analiz chemicznych gleby w celu uzyskania informacji ile tych składników już znajduje się w glebie. Poniższa tabela przedstawia zapotrzebowanie wybranych roślin na makro i mikroelementy w przeliczeniu na 1 tonę plonu.

Tabela 0.1. Średnie pobieranie makro i mikroelementów przez wybrane rośliny uprawne w przeliczeniu na 1 tonę plonu głównego

Roślina	Pobieranie makroelementów w kg						Pobieranie mikroelementów w g			
	N	P	K	Mg	Ca	S	B	Cu	Mn	Zn
Pszenica ozima - ziarno	27	4,3	12,5	2,3	3,6	4,1	5	8	82	59
Pszenica jara - ziarno	27	4,5	13,5	2,3	4,2	4,1	5	8	106	71
Kukurydza - ziarno	26	5,4	23,2	5,7	6,7	6,6	11	14	107	85
Rzepak nasiona	50	9,7	33,2	5,7	41,3	12,5	51	10	100	64
Bobik nasiona	8	7,1	30,2	3,3	14,9	6	32	19	45	96
Ziemniaki bulwy	4, 2	0,6	5,5	0,3	0,4	1,5	2	2	6	6
Burak cukrowy korzenie	3, 5	0,7	5,4	1,1	5	1	7	3	28	14
Koniczyna	0	0,6	5,1	0,5	2,7	1,5	4	2	13	9



Jak widać w powyższej tabeli każda roślina ma inne zapotrzebowanie na składniki odżywcze. Zastosowanie nawozów powinno zatem być dostosowane do potrzeb rośliny i oczekiwanego plonu. Odpowiednio dobrana dawka zapobiega objawom niedoboru składników i skutkom nadmiernego nawożenia. Naukowcy już dawno zwrócili uwagę na ten fakt i określili zasady dotyczące reakcji roślin na czynniki środowiskowe. Prawo minimum Liebiga informuje, że decydujący wpływ na wzrost i rozwój organizmu ma czynnik, który występuje w niedoborze. Jest on czynnikiem ograniczającym. Zatem jeżeli jakiegoś czynnika jest za mało pomimo odpowiedniej ilości pozostałych rozwój organizmu zostanie zahamowany. Obrazowo uczony przedstawił swoje prawo na przykładzie beczki.



Rysunek 0.1. Prawo Liebiga

Pojemność beczki jest ograniczana długością najkrótszej klepki, tak samo jak rozwój organizmu, jest ograniczony czynnikiem, którego jest najmniej.

Kolejne z praw stanowi rozszerzenie prawa minimum – jest to prawo tolerancji Shelforda. Prawo to określa, że zarówno niedobór, jak i nadmiar czynnika wpływają ograniczająco na wzrost i rozwój organizmów. Wynika stąd, że organizm może rozwijać się tylko w określonym zakresie wartości danego czynnika, a najlepszy rozwój zachodzi w warunkach optymalnych.

Racjonalne gospodarowanie nawozami w celu zapewnienia roślinom optymalnych warunków wzrostu zwiększa dochód z uprawy i chroni glebę przed skutkami przenawożenia.

0.4. Koszt nawożenia

Nawożenie w rolnictwie jest bardzo ważnym i wysoce kosztochłonnym zabiegiem agrotechnicznym gdyż, jest czynnikiem plonotwórczym. Koszty związane z nawożeniem nie ograniczają się jedynie do zakupu odpowiedniego nawozu. Na całościowy koszt składają się również wydatki związane z zakupem odpowiednich sprzętów do aplikacji nawozów – rozsiewacze, ciągniki rolnicze, czas pracy pracowników, aplikacje i programy do precyzyjnego wysiewu, koszty paliwa itd.

Wysokie koszty produkcji skłaniają rolników do przemyśleń dotyczących inwestycji w produkcje zwłaszcza w obliczu pogłębiającej się suszy i niskich cen płodów



rolnych oraz aktualnej sytuacji epidemiologicznej. Opłacalność produkcji zależy nie tylko od ilości, ale również jakości plonu. Właściwe nawożenie zwiększa odporność roślin na stres suszy i wystąpienie agrofagów. Odpowiednio rozwinięty system korzeniowy pozwala roślinom na pobieranie wody z głębszych warstw gleby i efektywniejsze wykorzystanie składników pokarmowych zgromadzonych w glebie i zaaplikowanych podczas nawożenia, co ma znaczący wymiar ekonomiczny. Rolnicy poszukują nowych rozwiązań, które ograniczą koszty związane z nawożeniem.

W pierwszej kolejności dla ograniczenia kosztów nawożenia jest określenie zasobności gleby i pH. W glebie zgromadzone są już określone zasoby substancji pokarmowych dostępnych dla roślin przy zapewnieniu odpowiedniego poziomu pH. Przy doborze dawki nawożenia trzeba uwzględnić te wartości.

Następnym etapem jest ustalenie ilości produktu, który zastosujemy. Pomocne są tu różnego typu programy komputerowe dzięki którym precyzyjnie możemy określić ilość potrzebnego składnika. Po wprowadzeniu powierzchni pola i rodzaju uprawy i zasobności gleby system generuje informacje o koniecznej ilości składnika jaki trzeba zakupić.

Stosowanie nawozów wiąże się z koniecznością przeliczenia czystego składnika znajdującego się w danym produkcie. Takie obliczenia są konieczne do ustalenia jaką ilość danego nawozu należy zastosować na daną powierzchnię. Pozwala to na precyzyjne określenie dawki, a w związku z tym oszczędności. Przeliczenia te nie należą do skomplikowanych, a przedstawione są na poniższym przykładzie:

Dane:

- dawka azotu na 1 ha uprawy wynosi 35 kg N
- powierzchnia uprawy 5,0 ha.

Obliczenia:

$$35\text{kg N} * 5,0 \text{ ha} = 175 \text{ kg N.}$$

Nasza dawka azotu na całą powierzchnie uprawy wynosi 175 kg.

Nawóz mocznik zawiera 46% azotu – czyli 100 kg tego nawozu zawiera 46 kg azotu.

Liczmy masę nawozu:

$$(175\text{kg} * 100) / 46 = 380 \text{ kg.}$$

Na całą powierzchnię uprawy musimy zastosować 380 kg nawozu.



Kolejnym krokiem jest precyzyjny wysiew nawozów. Rozpraszanie wprowadzonych składników nawozowych poza agro-systemy pól uprawnych generuje nie tylko straty finansowe, stanowi także zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. Nie da się całkowicie wyeliminować tych strat jednak istnieją sposoby znacznego ich ograniczenia. Stosowanie dobrej praktyki rolniczej gwarantuje oszczędności i przyjazność środowisku. Producenci maszyn rolniczych oferują coraz szerszą gamę sprzętu do precyzyjnego dawkowania nawozów i środków ochrony roślin. Precyzyjność maszyn polega na zmiennej aplikacji nawozu w zależności od potrzeb. Zakup odpowiedniego sprzętu do wysiewu czy oprysku wiąże się z koniecznością posiadania ciągnika wyposażonego w komputer i odbiornik GPS sprzężony z komputerem maszyny aplikującej. Precyzyjne rolnictwo choć w perspektywie czasu ogranicza koszty nawożenia to w początkowym etapie wiąże się z inwestycjami koniecznymi do zgromadzenia odpowiedniego parku maszyn.

Wysokie koszty nawożenia skłaniają rolników do szukania oszczędności nie tylko poprzez zastosowanie zmniejszonej, a raczej dostosowanej do potrzeb dawki nawozu mineralnego, ale również przez zastosowanie innych praktyk zmniejszających koszty. Taką rolę spełniają międzyplony. Pobierają one składniki z głębszych warstw gleby, a następnie akumulują w postaci materii organicznej w powierzchniowej warstwie gruntów uprawnych. Dodat-

kowym atutem jest ochrona gleby przed erozją i ochrona przed nadmiernym parowaniem. Na międzyplon wykorzystywane są najchętniej rośliny bobowate, które dodatkowo mają zdolność wiązania azotu z powietrza atmosferycznego. Międzyplony dzieli się ze względu na termin siewu i likwidacji. Międzyplony ścierniskowe siane są latem i likwidowane jesienią tego samego roku. Międzyplony ozieme wysiewa się jesienią po przedplonach i likwidowane wiosną kolejnego roku - zapewnia to dodatkowo pokrywą gleby przez okres zimy.

Wartość nawozowa międzyplonów zależy od faktycznej ilości składników pokarmowych, jakie wnoszą do rośliny następczej. Mechanizm działania międzyplonów można podzielić na:

- wiązanie azotu atmosferycznego
- “wyciąganie” składników z głębszych warstw gleby
- ograniczenie wymywania makro- i mikroelementów – zapobieganie ich utracie

Zakłada się, że dobrze rozwinięte międzyplony są w stanie zastąpić 8-20t/ha obornika.

Innym sposobem na ograniczenia zużycia nawozów i poprawienia zdrowotności roślin jest coraz bardziej znane zastosowanie symbiotycznych grzyby mikoryzowych. Zazwyczaj wprowadza się je do upraw w postaci szczepion-

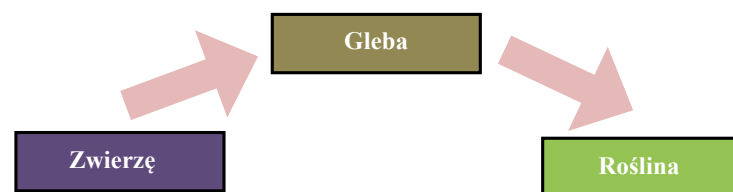


ki. Skutkiem tego jest uzyskanie znacznie lepszych efektów wzrostu i zdrowotności uprawianych roślin. Grzyby mikoryzowe są szczególnie przydatne w środowiskach trudnych dla wegetacji, zwiększając szanse roślinna przeżycie. Najczęściej użycie grzybów nikoryzowych można zaobserwować podczas zalesiania gruntów porolnych, pokopalnianych, czy nasadzeń wzdłuż autostrad. Zastosowanie zabiegu mikoryzacji umożliwia roślinie lepszą i szybszą adaptację do nowych warunków oraz jest rodzajem ochrony biernej i czynnej przed patogenami korzeniowymi. Atutem tego zabiegu jest wykonanie tylko jeden raz na całe życie rośliny. Mikoryzacja najbardziej znana jest w ogrodnictwie jednak może i powinna być zastosowana w różnych obszarach produkcji roślinnej.



0.5. Oddziaływania związane z ochroną środowiska. Problemy obecnych nawozów syntetycznych

Gospodarstwo rolne jest podstawową jednostką organizacyjną w rolnictwie. Jego zadaniem jest realizacja procesów prowadzących do powstania pasz, żywności oraz surowców do przemysłu. W wyniku tego procesu stosowane są ogromne ilości składników nawozowych, jednak tylko część z nich ulega przetworzeniu na produkty roślinne i zwierzęce. Pozostała niewykorzystana część zostaje w środowisku i ulega rozproszeniu. Często przedostaje się do wód powierzchniowych i podziemnych powodując negatywne dla środowiska skutki. Ładunek niewykorzystanych składników nazywa się nadmiarem, nadwyżką lub stratami, a określa różnicę między ilością składników wnoszonych do gospodarstwa i z niego wynoszonych. Składniki nawozowe w gospodarstwie rolnym krążą w następującym układzie:



Rolnik powinien świadomie sterować przepływem składników nawozowych w gospodarstwie, by kształtować go w odpowiednim kierunku – jest to tzw. zarządzanie składnikami nawozowymi. Jest to praktyczna umiejętność skupiająca kilka elementów takich jak gleba, rośliny, warunki pogodowe, warunki hydrologiczne z praktykami rolniczymi, irygacyjnymi i ochroną gleby oraz wody, a wszystko to w celu maksymalnego wykorzystania składników nawozowych, wydajności upraw i zwiększenia rentowności produkcji i ochrony środowiska.

Zgodnie z zapisami prawa rolnik podczas nawożenia zobowiązany jest do przestrzegania następujących zasad:

- nawozy na gruntach rolnych stosuje się w odległości nie mniejszej niż 5 metrów od zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha oraz kanałów, rowów i cieków wodnych.
- stosowanie nawozów sztucznych jest możliwe na gruntach rolnych w odległości co najmniej 20 metrów od zbiorników wodnych o powierzchni wynoszącej 50 ha.
- stosowanie nawozów sztucznych na glebach zalanych wodą, przykrytych śniegiem i zamrzniętych do głębokości 30 cm jest zabronione.
- nie wolno nawozić gleb w trakcie opadów deszczu.
- Zabronione jest stosowanie nawozów mineralnych na stokach o pochyleniu większym niż 10%

Nawozy azotowe stosowane w rolnictwie nawet najlepiej stosowane nie są wykorzystywane przez rośliny w 100%. Najczęściej szacuje się, że średnie wykorzystanie azotu z nawozów azotowych wynosi około 60-70%. Oznacza to, że średnio aż 30-40% azotu wytworzonego przez przemysł i zastosowanego na pola uprawne w formie nawozów ulega nieproduktywnemu rozproszeniu w środowisku przyrodniczym. Ten niewykorzystany przez rośliny uprawne azot może ulatniać się do atmosfery w formie gazowej jako NH_3 lub może ulec wymywaniu w formie jonów NO_3^- lub NH_4^+ do wód podziemnych i powierzchniowych. Efektem tego rozpraszania azotu z nawozów są niekorzystne następstwa środowiskowe takie jak:

- efekt cieplarniany
- kwaśne deszcze
- niszczenie warstwy ozonowej
- eutrofizacja wód powierzchniowych

Rozwój rolnictwa i dążenie do maksymalizacji plonu poprzez zwiększenie ilości nawozów sztucznych przy jednoczesnym stosowaniu ich w nieodpowiednich warunkach doprowadziły do wzrostu zawartości składników mineralnych w wodach odpływowych z terenów rolniczych. Skutkiem tego jest przeżyźnienie wód, co jest przyczyną niebezpiecznego zjawiska eutrofizacji. Zjawisko to zachodzi na skutek zbyt dużych ilości związków azotu i fosforu (zwanych biogenami) w wodzie. Nadmierna ilość związków odżywczych powoduje masowy zakwit glonów



i sinic. Glony po obumarciu opadają na dno zbiornika i ulegają rozkładowi. W tym procesie zużywany jest tlen z przydennych warstw wody. Przy ograniczonej ilości tlenu wzrasta ilość bakterii beztlenowych, które kontynuują rozkład, a jednocześnie produkują szkodliwy dla organizmów siarkowodór. W wyniku eutrofizacji powstają obszary o niskiej zawartości tlenu, a nawet martwe strefy, gdzie tlenu nie ma wogóle, a życie tlenowe zamiera. Jednym ze skutków eutrofizacji jest również ograniczenie możliwości wykorzystania wód do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Do najbardziej widocznych skutków procesu eutrofizacji zalicza się podwyższona mętność wody.

Zagrożenie dla środowiska w ujęciu nawozów sztucznych pojawia się nie tylko w momencie ich stosowania. Już przy samej ich produkcji powstają spore ilości odpadów, które nie odpowiednio zagospodarowane i składowane zagrażają środowisku. W grupie nawozów sztucznych największa ilość odpadów przemysłowych powstaje w procesach produkcji nawozów fosforowych. Fosfogips powstający przy produkcji nawozów jest zanieczyszczony w stopniu ograniczającym możliwości jego wykorzystania. Składowiska fosfogipsu wymagają ochrony przed uwal-

nianiem zanieczyszczeń do środowiska wodnego. Hałdy fosfogipsu negatywnie oddziałują na środowisko poprzez pylenie, emisję fluoru oraz zanieczyszczenie wód. Odpady stałe z przemysłu nawozowego stanowią bardzo duży problem dla środowiska, a ich zagospodarowanie wymaga znacznych nakładów. Należy pamiętać, że prawie wszystkie odpady pochodzące z tego przemysłu gromadzone są na składowiskach i jedynie niewielki procent jest ponownie wykorzystywany.

Technologie wykorzystywane do produkcji nawozów azotowych przyczyniają się do emisji w znacznych ilościach dwóch gazów cieplarnianych - dwutlenku węgla oraz podtlenku azotu.



**1. Jakie substancje nazywamy nawozami:**

- substancje pochodzenia roślinnego
- substancje, które w swoim składzie zawierają min. 20% azotu
- substancje zawierające składniki pokarmowe wykorzystywane przez rośliny do prawidłowego wzrostu i rozwoju

2. Wskaż, które z działań ma pozytywny wpływ na glebę:

- monokultury rolnicze
- intensywny wypas bydła
- stosowanie międzyplonów

3. Wskaż typowe skutki niedoboru fosforu:

- zahamowanie fotosyntezy i wzrostu i pociemnienie liści
- kruche liście, zamieranie kwiatów
- zahamowanie wydłużania międzywęzła

4. Wskaż efekt wpływu na środowisko wywołany nadmiernym rozproszaniem azotu pochodzącego z nawozów:

- eutrofizacja wód powierzchniowych
- zmniejszenie warstwy próchnicy
- zwiększenie przepuszczalności gleb

5. Wskaż poprawne zdanie:

- Nawozy mineralne powstają wskutek rozkładu szczątków roślinnych i zwierzęcych.
- Międzyplony ścierniskowe siane są latem i likwidowane jesienią tego samego roku.
- Nawozy mineralne można stosować na glebach zalanych wodą, przykrytych śniegiem i zamarzniętych do głębokości 30 cm



Referencje

1. Andrew Burrows, John Holman, Andrew Parsons, Gwen Pilling, Gareth Price; "Chemistry. Introducing inorganic, organic and physical chemistry"; Oxford University Press, 2017
2. Czaplicka-Kotas A., Ślusarczyk Z., Pięta M., Szostak A.: Analiza zależności między wskaźnikami jakości wody w Jeziorze Goczałkowickim w aspekcie zakwitów fitoplanktonu. *Ochrona Środowiska*, 2012, 1 (34), 21-27
3. Gajda M., Przewłoka B, Gawryjolek K, Ocena oddziaływania systemu uprawy roli na środowisko glebowe na podstawie zmian parametrów mikrobiologicznej aktywności gleby, Poznań 2010
4. Grażyna Łabno; "Ekologia. Słownik encyklopedyczny"; Wydawnictwo Europa, Warszawa 2006.
5. Grzywacz A. 2000. Stan i potrzeby w zakresie mikoryzacji drzew i krzewów leśnych w Polsce. Potrzeby techniki w Leśnictwie, SITLiD, Warszawa. Maszynopis.
6. Ilnicki P.: Polskie rolnictwo a ochrona środowiska. Wyd. AR, Poznań 2004, s. 485.
7. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W. Nawożenie mineralne na gruntach ornych i użytkach zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa nr 151, Puławy 2008.
8. Jane B. Reece, Lisa E. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, Robert B. Jackson; "Biologia Campbella"; Dom Wydawniczy Rebis, Poznań 2020
9. Jerzy Kubiak, PRZYSZŁOŚCIOWA TECHNOLOGIA MIKORYZACJI MASOWEJ PRODUKCJI OGRODNICZEJ, *Inżynieria Rolnicza* 9(97)/2007
10. K.-H. Lautenschlager, W. Schroter, A. Wanninger; "Nowoczesne kompendium chemii"; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.
11. Kabata-Pendias A., Ponde I H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa 1993
12. Kocoń A. Potrzeby nawożenia mikroelementami. *SiR IUNG-PIB* 2013, zeszyt 34(8).
13. Kohn R.A, Dou Z., Ferguson J.D., Boston R.C., A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *J. Envir. Manag*, 1997
14. Kubiak J. 2004. Sposoby aplikacji szczepionek mikoryzowych. Seminarium nt.: Dlaczego Mikoryza jest szansą sukcesu dla roślin ogrodniczych i leśnych, Warszawa 21.01.2004
15. Mackenzie A., Ball A.S., Virdee S.R., Ekologia. Krótkie wykłady. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005
16. Norman Neill Greenwood, Alan Earnshaw, Butterworth-Heinemann; "Chemistry of the Elements (2nd ed.)"; Oxford 1997
17. Nowak W., Wróbel S., Pasierb K. Oddziaływanie zanieczyszczeń emitowanych przez Zakłady Chemiczne „Widzów” S.A na glebę i rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.*, nr 467, 1999
18. Otałęga Z. (red. nacz.); "Encyklopedia biologiczna T. V, VII"; Agencja Publicystyczno-Wydawnicza Opres, Kraków 1998-1999
19. Praca zbiorowa: Biologia: jedność i różnorodność, Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa 2008
20. <https://doradca-rolniczy.pl/makro-i-mikroelementy-w-produkcji-rolniczej/>
21. <http://www.stary.iung.pl/dpr/potrzeby.html>
22. <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/nawozy-i-nawozenie-17370471/art-2>





MODUŁ 1
Mikoryza i jej właściwości



1.1. Biofertilizatory

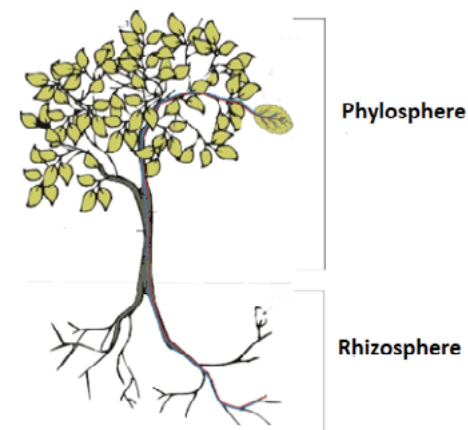
Oprócz szeroko wykorzystywanych nawozów mineralnych i organicznych w rolnictwie dostępne są również bionawozy. Są to substancje zawierająca żywe mikroorganizmy (bakterie, algi, grzyby), które wykazują korzystne właściwości dla wzrostu i rozwoju roślin. Szczepy mikroorganizmów wykorzystują różne mechanizmy w celu zwiększenia pobierania składników odżywczych, poprawy żyzności gleby i zwiększenia plonów. Mechanizmy te polegają na wiązaniu azotu, solubilizacji potasu i fosforu, wydalaniu fitohormonów, produkcji substancji hamujących fitopatogeny, ochronie roślin przed stresami abiotycznymi i biotycznymi oraz detoksykacji zanieczyszczeń podziemnych. Bionawozy zawierają w swoim składzie jeden lub więcej mikroorganizmów. Biorąc pod uwagę rosnące wymagania konsumpcyjne na Ziemi oraz zagrożenia wynikające z nadmiernego stosowania nawozów sztucznych i pestycydów, bionawozy są uważane za obiecującą i nietoksyczną alternatywę dla syntetycznych agrochemikaliów, zwalczania patogennych grzybów i minimalizację skażenia mikotoksynami. Szczególne znaczenia nabiera rola bionawozów w rolnictwie, zwłaszcza w obecnym kontekście wzrostu kosztów nawozów sztucznych i ich szkodliwego wpływu na kondycję gleb.



Spśród dobrze poznanych do tej pory mikroorganizmów wykorzystywanych w bionawożeniu i biokontroli wyróżnić można:

- rhizobacteria promujące wzrost roślin (PGPR)
- bakterie brodawkowe
- grzyby mikoryzowe
- grzyby endofityczne
- grzyby ryzosferyczne
- grzyby mykopasożytnicze i entomopatogeniczne

Najczęściej stosowane bionawozy i środki do biokontroli należą do grupy ryzobakterii promujące wzrost roślin (PGPR). Kolonizują ryzosferę roślin czyli warstwę gleby bezpośrednio przylegającą do korzeni roślin i wywierającą znaczący wpływ na rozwój korzenia, jego procesy fizjologiczne, a przede wszystkim pobieranie wody z substancjami pokarmowymi. PGPR wywierają korzystny wpływ na żywiciela (roślinę) poprzez zwiększenie wzrostu roślin, zmniejszenie podatności na choroby wywoływane przez patogeny takie jak nicienie, grzyby, bakterie i wirusy.



Rysunek 1.1. Części zielone i podziemna struktura rośliny

Ryzobakterie dodatkowo zwiększają szybkość kiełkowania nasion, wzrost korzeni, pozytywnie wpływają na plon, powierzchnię liści, zawartość chlorofilu, pobieranie składników odżywczych, zawartość białka, aktywność hydrauliczną, tolerancję na stres abiotyczny, masę pędów i korzeni oraz opóźniają starzenie się. Szczepienie roślin drobnoustrojami zaliczanymi do PGPR, szczególnie bakteriami z rodzaju *Pseudomonas*, pozwala złagodzić stresy spowodowane czynnikami abiotycznymi oraz przyczynić się do wzrostu plonu roślin nawet o 144%. Obecność w ryzosferze mikroorganizmów wiążących azot, wprowadzonych w postaci szczepionki, powoduje wzrost plonu roślin, nawet przy stosunkowo wysokim nawożeniu.



Ryzobakterie promujące wzrost roślin są często stosowane jako bionawozy np. jako nawozy azotowe, fosforowe lub do nawożenia roślin cynkiem, siarką i krzemianem.

Wiele gatunków bakterii wytwarza szerokie spektrum antybiotyków. Obecnie dostępne produkty utworzone na bazie PGPR stosowane do biokontroli i zawierające szczepki bakterii kontrolujące np: plamistość siatkową i pasiaistość liści jęczmienia, fuzarium, mączniaka prawdziwego na jabłkach, winogronach, brzoskwiniach czy zgniliznę sałaty.

Kolejną grupę bionawozów stanowią bakterie brodawkowe, czyli grupa bakterii współżyjących z roślinami motylkowymi. Za ich przyczyną na korzeniach roślin powstają brodawki. Do komórek korzenia bakterie dostają się przez specjalną strukturę nazywaną nicią infekcyjną. Infekcja tymi bakteriami pobudza komórki gospodarza do szybkiego wzrostu, co prowadzi do powstania brodawek.



Rysunek 1.2. Brodawki korzeniowe na soi

Brodawki korzeniowe na soi

Istotną kwestią jest zabarwienie brodawek – różowe wskazuje na proces wiązania azotu. Największa intensywność wiązania azotu można zaobserwować przed kwitnieniem. Bakteria wiążąca N_2 przetwarza go w NH_3 lub aminokwas glutaminę. Tak przetworzony azot przekazywany jest komórkom rośliny. Rolą rośliny w procesie symbiozy jest dostarczenie bakterii związków węgla i zapewnienie warunków rozwoju. Część zasymilowanego przez bakterie azotu zasila glebę, dlatego rośliny motylkowate są ważnym elementem w płodozmianie. Bakterie brodawkowe mogą wiązać nawet 200-300 kg azotu/ha.



Grzyby endofityczne kolonizują m.in. korzenie jęczmienia i kukurydzy. Odpowiadają za pobieranie fosforu i siarki, zwiększenie produkcji biomasy oraz sprzyjają wczesnemu kwitnieniu i produkcji nasion. Pomagają roślinie żywicielskiej przetrwać stres suszy, temperatury i nadmiernego zasolenia. Oprócz tego indukują odporność na toksyny, metale ciężkie, owady i patogeny. Dobrze poznana grupę grzybów endofitycznych stanowią również endofity traw, które aktywują regenerację uszkodzeń po długotrwałej suszy, wpływają na oszczędną gospodarkę azotem i lepszą przyswajalność fosforu. Trawy z endofitami są odporne na szkodniki, nicienie i niektóre choroby, wykazują obfitsze krzewienie, trwałością oraz konkurencyjność w stosunku do traw nie zasiedlonych przez te grzyby.

Grzyby ryzosferyczne pomagają roślinie w przyswajaniu fosforanów. Stosowane są w wielu produktach ze względu na zdolność do zmniejszania stresu abiotycznego i biotycznego roślin żywicielskich poprzez zwalczanie patogenów roślinnych i nicieni. Niektóre grzyby ryzosferyczne są zdolne do wytwarzania związków podobnych do auksyn, które są w stanie zwiększyć wzrost cukinii, sałaty, papryki, melona, pomidora nawet o 56–167%. Inne grzyby ryzosferyczne mogą indukować wzrost, kwitnienie i wtórny metabolizm roślin żywicielskich.

Wśród bionawozów pojawiają się preparaty grzybowe oparte na mykopasożytnictwie patogenów roślinnych. Mykopasożytnictwo to zjawisko polegające na pasożytowaniu grzyba mykopasożytniczego (nadpasożyta) na innym grzybie. Mykopasożyty ograniczają infekcje wywołane przez mączniaka prawdziwego i rzekomego, rdze, plamistość liści oraz zgniliznę łodyg i bulw. Mogą być również stosowane do zwalczania owadów chorobotwórczych takich jak mączliki, wciornastki, roztocza, mszyce i ich różnych stadiach rozwojowych.



1.1.1. Mikoryza w roli bionawozów

Grzyby mikoryzowe są zaangażowane w gospodarkę mineralną oraz dystrybucję węgla pochodzącego z fotosyntezy. Umożliwiają pobieranie niedostępnych dla roślin fosforu, azotu czy mikroelementów. Równocześnie korzystają z asymilatów wytwarzanych przez zielone części rośliny. W ostatnich latach propagowana jest uprawa tzw. organiczna lub ekologiczna. Zasady tego typu upraw polegają na znacznym ograniczeniu, a nawet wyeliminowaniu chemii, w tym nawozów mineralnych. Nie można jednak dopuścić do powstania niedoborów pokarmowych w roślinie. W tym wypadku mikoryza odgrywa niebagatelną rolę. W wielu doświadczeniach udowodniono, że pożądany wzrost roślin można otrzymać obniżając polecane dawki nawozu, nawet o 25%, a współczynnik wykorzystania nawozów może wzrosnąć 4-5 razy. Grzyby mikoryzowe uruchamiają z niedostępnych form fosfor oraz mikroelementy, także azot. Wiele trudności następuje również uprawa roślin na glebach ubogich, kwaśnych i bardzo kwaśnych o bardzo niskim zmineralizowaniu. Rolą grzybów mikoryzowych jest enzymatyczny rozkład substancji organicznej, dzięki czemu udostępniane są roślinom mineralne formy związków pokarmowych: azotowe z podłoża organicznego czy fosfor uwolniony z chelatowych form żelaza i glinu.

Zastosowanie bionawozów niesie ze sobą szereg pozytywnych aspektów. Głównym celem stosowania bionawozów jest:

- zapewnienie źródła składników pokarmowych i dobre warunki glebowe dla wzrostu upraw,
- zmniejszenie ilości używanych nawóz chemiczny przy jednoczesnym zachowaniu plonowania,
- zmniejszenia negatywnych skutków wywołanych stosowaniem nawozów chemicznych,
- zwiększenie wzrostu korzeni roślin, a tym samym zwiększenie możliwości pobierania wody i substancji odżywczych,
- przedłużenie żywotności korzenia,
- neutralizowanie i degradowanie szkodliwych substancji nagromadzonych w glebie,
- ograniczenie negatywnych skutków (neutralizowanie stresu) przesadzania sadzonek i skrócenie czasu potrzebnego do kwitnienia.

1.2. Mycorrhiza

Po raz pierwszy terminu mikoryza użył w 1885 roku niemiecki fitopatolog zajmujący się leśnictwem — A. B. Frank. Mikoryza to symbioza między korzeniami roślin a niepatogenicznymi, wyspecjalizowanymi grzybami żyjącymi w glebie. Nazwa mikoryza pochodzi od greckich słów: mykes - grzyb, rhiza – korzeń. Grzyby mikoryzowe



żyją w symbiozie niemal ze wszystkimi roślinami. Badania wskazują, że ok. 80-90% roślin lądowych tworzy mikoryzy. Liczbę grzybów wchodzących w związki mikoryzowe z roślinami szacuje się na około 5000 – 6000 gatunków.

Rodzaje mikoryz:

- mikoryza zewnętrzna (ektomikoryza),
- mikoryza wewnętrzna (endomikoryza),
- ektendomikoryza
- mikoryza perytroficzna.

1.2.1. Ektomikoryza (mikoryza zewnętrzna)

Ten rodzaj mikoryzy występuje u ok. 10% roślin nagozalążkowych, jak i okrytozalążkowych. W ektomikoryzie strzępki grzyba wnikają pomiędzy ściany komórek miększu kory pierwotnej korzenia, oplatają je i tworzą system połączeń międzykomórkowych tzw. sieć Hartiga. U roślin okrytozalążkowych sieć ta składa się z warstwy komórek, które nie przekraczają granic epidermy, natomiast u roślin nagozalążkowych komórki grzyba docierają w głąb korzenia. W rejonie sieci Hartiga następuje wymiana związków mineralnych i organicznych między obu symbiontami: grzyb przekazuje roślinie m.in. sole mineralne, wodę, hormony i witaminy, a otrzymuje od niej głównie cukry, których z powodu braku chlorofilu – sam nie potrafi wytworzyć. Strzępki grzyba pokrywają część korzenia tworząc tak zwana mufkę grzybniową. Pod wpływem mikoryzy korzenie roślin zmieniają swój kształt i łatwo odróżnić

je od korzeni niemikoryzowych. Barwa i budowa mufki mikoryzowej mogą być różne i zależą od rodzaju grzybów tworzących symbiozę. Od mufki odchodzą w głąb gleby strzępki, tworząc sieć zwaną grzybnią ekstrametrykalną często o znacznej długości. Mogą one tworzyć połączenia pomiędzy systemami korzeniowymi różnych gatunków roślin, co umożliwia wymianę substancji organicznych, nieorganicznych i wody pomiędzy roślinami. Kolonizacja grzybami mikoryzowymi może mieć miejsce już we wczesnym stadium siewki, kiedy tworzą się pierwsze korzenie boczne. Źródłem grzybni zasiedlającej korzenie mogą być obecne w glebie strzępki grzybniowe, zarodniki lub mikoryzy występujące na starszych korzeniach. Wzrost grzybni może być stymulowany przez substancje wydzielane przez korzenie roślin. Istnieją gatunki roślin, które nie rozwijają się prawidłowo bez mikoryzy przykładem są m. in. buk, dąb, sosna, świerk. Natomiast u roślin fakultatywnych takich np. brzoza, wierzba, olsza wykształcenie mikoryzy zależy od warunków środowiskowych.

Większość grzybów ektomikoryzowych nie wykazuje specyficzności w stosunku do roślin i tworzą mikoryzy z wieloma gatunkami gospodarzy natomiast spotykane są gatunki grzybów, które wchodzą w kontakty tylko z jednym gatunkiem roślin.



1.2.2. Endomikoryza (mikoryza wewnętrzna)

Zwana jest również mikoryzą arbuskularną. Polega na tym, że strzępki grzyba wnikają przez ściany komórkowe miękiszu kory pierwotnej korzenia i tworząc masę skręconych strzępek we wnętrzu komórki. Strzępki nie przenikają przez błonę komórkową, która tworzy wielokrotne wpuklenia wokół nich, zwiększając przez to powierzchnię kontaktu. Czasem strzępki tworzą pęcherzyki wypełnione substancją olejową najprawdopodobniej mającą charakter zapasowy. Grzyby mikoryzowe nie wnikają głębiej niż do miękiszu kory pierwotnej korzenia. W tym typie mikoryzy włośniki nie zanikają, nie tworzy się mufka. Korzenie roślin z endomitoza posiadają włośniki i zewnętrznie niczym nie różnią się od korzeni niemikoryzowych, a jej obecność można stwierdzić jedynie w badaniach mikroskopowych. Endomikoryza jest najczęściej występującą mikoryzą. Ok. 250 000 gatunków roślin na całym świecie jest zdolna do tworzenia endomikoryz. Najczęściej spotykana jest u roślin zielonych i drzew owocowych.

W przeważającej większości rośliny tworzą tylko jeden rodzaj mikoryzy – ektomikoryzę bądź endomikoryzę. Istnieją jednak rośliny, które jednocześnie są w stanie utworzyć oba typy symbiozy.

1.2.3. Ektendomikoryza (mikoryza zewnętrzna)

Ektendomikoryza wykazuje cechy ekto- jak i endomikoryzy. W tym typie mikoryzy mufka jest cienka i słabo wykształcona, sieć Hartiga jest dobrze rozwinięta, a strzępki grzyba występują we wnętrzu komórek kory pierwotnej.

1.2.4. Mikoryza perytroficzna

Należy do najluźniejszego typ symbiozy. Grzyby tworzące ten rodzaj mikoryzy egzystują wyłącznie w strefie przykorzeniowej i na powierzchni korzenia i nie wnikają do kory pierwotnej korzenia. Obecność tych grzybów wpływa na skład chemiczny otocznia korzeni, najczęściej pełnią one funkcję buforów glebowych.





1.3. Ogólne korzyści wynikające z istnienia i stosowania mikoryzacji

Istotnym zagrożeniem dla zdrowia ludzi i środowiska jest stale wzrastające zanieczyszczenie gleby, powietrza i wody, które wynika z działalności przemysłu, niskiej wydajności metod pozyskiwania metali czy też chemizacji rolnictwa. Odbudowa systemów ekologicznych zbliżonych do naturalnych jest procesem długotrwałym. Pozy-

tywne oddziaływanie mikroorganizmów jest istotne w celu poprawy warunków wzrostu i rozwoju roślin na terenach zdegradowanych lub skażonych poprzez działalność człowieka. Grzyby mikoryzowe przerastają podłoże otaczające korzenie roślin zwiększając stabilizację poprzez tworzenie strzępek, wydzielanie substancji wiążącej cząsteczki gleby. Niezwykle istotne jest występowanie mikoryzy na obszarach działalności wulkanów, wycinki lasów, tworzenia hałd przemysłowych, odkrywek pogórnich, produkcji rolniczej prowadzącej zbyt intensywne nawożenie oraz na terenach silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi. W tych wypadkach obecność mikoryzy sprawdza się jako metoda obniżenia toksyczności związków. Prawidłowo wykształcona mikoryza zwiększa przeżywalność roślin w trudnych warunkach poprzez podniesienie dostępności substancji odżywczych, obniżenie stresu niedostępności wody, wzmoczenie odporności na patogeny, wzmoczenie produkcji fitohormonów oraz poprawę struktury podłoża.

Mikoryza jest także przydatna w procesie rekultywacji gleb poprzez zatrzymanie zanieczyszczeń w korzeniach wyselekcjonowanych gatunków roślin. Proces ten zachodzi na drodze adsorpcji na powierzchni korzeni, adsorpcji do wnętrza i wytrącenia w strefie korzeniowej. System korzeniowy powoduje unieruchomienie gleby i zawartych w niej zanieczyszczeń, uniemożliwiając erozję powietrzną oraz wodną, co skutkuje brakiem możliwości przemieszczania się zanieczyszczeń do głębszych warstw profilu glebowego.



Grzyby mikoryzowe mogą być przydatne do określania toksyczności podłoża zastępując chemiczną ocenę toksyczności, zwłaszcza gdy czynników stresogennych jest więcej. Na terenach skażonych zastosowanie grzybów mikoryzowych w jako taniej i szybkiej metody monitoringu będzie odgrywać dużą rolę.

Jak już wspomniano główną rolą grzybów mikoryzowych jest pobieranie składników pokarmowych i wody oraz ich transport do komórek gospodarza. Zjawisko to zachodzi dzięki zwiększeniu powierzchni chłonnej korzeni roślin. Powierzchnia chłonna roślin tworzących ektomikoryzy jest ok. 1000 razy większa w porównaniu z korzeniami niemikoryzowymi. Prawidłowo wykształcona mikoryza zwiększa przeżywalność roślin w trudnych warunkach poprzez podniesienie dostępności składników pokarmowych. Roślina w zamian dostarcza grzybom składników odżywczych, przede wszystkim węglowodanów, wytworzonych w procesie fotosyntezy.

Ochrona korzeni roślin przed atakiem patogenów uważana jest za podstawową rolę ekologiczną mikoryz. Grzyby ektomikoryzowe obniżają częstość chorób korzeni tworząc barierę chroniącą korzeń przed infekcją powodowaną przez patogeny. Niektóre gatunki grzybów mikoryzowych produkują antybiotyki lub pobudzają roślinę do produkcji i wydzielania substancji, które hamują wzrost i rozwój patogenów. Grzyby mikoryzowe redukują liczbę patogenów

poprzez konkurencję z nimi o składniki odżywcze.

Część grzybów mikoryzowych produkuje substancje pobudzające wzrost roślin, głównie hormony roślinne z grupy auksyn. O skali korzyści wynikającej z mikoryzy może decydować rodzaj grzyba nawiązującego symbiozę z rośliną, jak również rodzaj samej rośliny.

1.4. Produkcja i handel mikoryzą w Europie

Stosowanie preparatów biologicznych w produkcji rolnej nie jest jeszcze powszechne, ale może okazać się niezbędne w obliczu zmian klimatu, w tym wdrażaniu zasad Europejskiego Zielonego Ładu. Świadomość dotycząca stosowania biopreparatów w tym preparatów z mikoryzą z roku na rok sukcesywnie wzrasta. Z jednej strony jest to świadomość wynikająca z osobistych przekonań, ale również z coraz większej wiedzy naukowej na ich temat.

Rozwój i stosowanie preparatów mikrobiologicznych wzrasta na całym świecie ze względu na rozpoznanie szkodliwego wpływu na środowisko spowodowanego nadmiernym, bądź niewłaściwym stosowaniem nawozów chemicznych oraz lepszą wiedzę na temat relacji między rośliną a mikroorganizmami występującymi w ryzosferze.

Różne rodzaje mikroorganizmów oraz różne mechanizmy wykorzystywane przez nie do uzyskania końcowego



efektu stworzyły pewne niespójności w definicji bionawozów. Niejednokrotnie nazewnictwo stosowane do preparatów zawierających grzyby mikoryzowe było i jest stosowane niewłaściwie. Spowodowało to pewne zamieszanie na rynku mikrobiologicznych produktów do odżywiania roślin, który w UE nie został jeszcze uregulowany, stąd wynika trudność w rzetelnym określeniu faktycznie zużywanych preparatów mikoryzowych. Dostępne są jedynie dane dotyczą ogólnej grupy produktów zawierających w składzie mikroorganizmy. Często w nazewnictwie preparaty te funkcjonują pod nazwą bionawozy, biostymulatory, biopestycydy, preparaty mikrobiologiczne. Nie jest zatem możliwe przedstawienie rzetelnych informacji dotyczących zużycia poszczególnych bionawozów sklasyfikowanych w niniejszym opracowaniu.



Rysunek 1.3. Biopreparat z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* przechowywany w chłodni Leśnego Banku Genów Kostrzyca

Definicja prawna produktu, takiego jak bionawóz, jest kluczowa dla producentów, którzy chcą go komercjalizować. W Unii Europejskiej (UE) oraz w USA nie ma obecnie definicji prawnych terminu „bionawóz” ani szczegółowych przepisów prawnych określających ich cechy. W UE mikroorganizmy (bakterie, wirusy i grzyby) są uwzględnione jako możliwy wkład w produkcji ekologicznej, ale tylko do biologicznego zwalczania szkodników i chorób. W związku z tym są one ujmowane jako środki kontroli biologicznej. We Włoszech tylko inokula z grzybami mikoryzowymi są ujęte w grupie „Produkty o działaniu na glebę” oraz w kategorii różne „Produkty o szczególnym działaniu”.

Niemniej jednak główne ograniczenia branży wynikają z braku świadomości czym są bionawozów - w tym produkty mikoryzowe i niskiego tempa adopcji przez rolników.






TEST
KOŃCOWY

1. Czym są bionawozy:

- Nawozy pochodzenia roślinnego wykorzystywane w rolnictwie.
- Substancje zawierająca żywe mikroorganizmy (bakterie, algi, grzyby), które wykazują korzystne właściwości dla wzrostu i rozwoju roślin.
- Substancje pochodzenia zwierzęcego np. obornik używane w celu nawożenia upraw.

2. Rola bakterii brodawkowych:

- Wpływają na zwiększanie zdolności kiełkowania nasion.
- Wytwarzają spektrum antybiotyków zapobiegając chorobom roślin.
- Współżyją z roślinami motylkowymi i uczestniczą w procesie wiązania azotu

3. Mikoryza to symbioza pomiędzy:

- bakteriami a korzeniami roślin
- grzybami a liśćmi roślin
- grzybami a korzeniami roślin

4. Wskaż typ symbiozy (mikoryzy), w której grzyby egzystują wyłącznie w strefie przykorzeniowej i na powierzchni korzenia:

- Ektomikoryza
- Mikoryza perytroficzna
- Ektoendomikoryza

5. Wskaż błędne zdanie

- Dzięki mikoryzie powierzchnia chłonna korzeni może wzrosnąć ok. 1000 razy.
- Prawidłowo wykształcona mikoryza zwiększa przeżywalność roślin w trudnych warunkach poprzez podniesienie dostępności składników pokarmowych.
- Mikoryza pozwala na prawidłowy wzrost i rozwój roślin w przypadku całkowitego braku wody przez okres 2 tygodni.



Referencje

1. Aamir M., Rai K.K., Zehra A. Microbial Endophytes. Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2020. Microbial bioformulation-based plant biostimulants: A plausible approach toward next generation of sustainable agriculture; pp. 195–225.
2. Abdul Jaleel C., Manivannan P., Sankar B., Kishorekumar A., Gopir R., Somasudaram R., Panneerselvam R. 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Colloids Surf. B* 60, 7–11.
3. Fletcher L. R., Easton H. S. 2000. Using endophytes for pasture improvement in New Zealand. *Proc. of the 4th International Neotyphodium/Grass Interactions Symposium*, Soest, Germany: 149 — 162.
4. Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Hückelhoven R., Neumann C., Von Wettstein D., et al. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2005;102:13386–13391.
5. Franche C., Lindström K., Elmerich C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant Soil*. 2009;321:35–59
6. Funk C. R., Belanger F. C., Murphy J. A. 1994. Role of endophytes in grasses used for turf and soil conservation. In: *Biotechnology of endophytic fungi of grasses*. Bacon Ch. W, White J. F. Jr. (eds.). CRC Press., Boca Raton: 201 — 209.
7. Kloepper J.W., Ryu C.-M., Zhang S. Induced Systemic Resistance and Promotion of Plant Growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*. 2004;94:1259–1266.
8. Krupa A., Mikoryzy i ich wielofunkcyjna rola w środowisku, *Chemistry, Environment, Biotechnology* 2010, XIV, 175–182
9. Kumar M., Yadav V., Tuteja N., Johri A.K. Antioxidant enzyme activities in maize plants colonized with *Piriformospora indica*. *Microbiology*. 2009;155:780–790.
10. Mącik M., Gryta A., Frąc M. Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Adv. Agron*. 2020;162:31–87.
11. Małachowska-Jutysz, A., Miksch, K., 2000. Rola ryzofery roślin jedno- i dwuliściennych w usuwaniu WWA, TPH oraz z frakcji ciężkich ze środowiska glebowego. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska/Politechnika Śląska*, (45), 75-88.
12. Malinowski D. P., Belesky D. P. 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Sci*. 40: 923 — 940.
13. Oelmüller R., Sherameti I., Tripathi S., Varma A. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. *Symbiosis*. 2009;49:1–17.
14. Paterson J., Jahanshah G., Li Y., Wang Q., Mehnaz S., Gross H. The contribution of genome mining strategies to the understanding of active principles of PGPR strains.



FEMS Microbiol. Ecol. 2017;93:249.

15. Perdakis D., Kapaxidi E., Papadoulis G. Biological control of insect and mite pests in greenhouse solanaceous crops. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.* 2008;2:125–144.

16. Pii Y., Mimmo T., Tomasi N., Terzano R., Cesco S., Crecchio C. Microbial interactions in the rhizosphere: Beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biol. Fert. Soils.* 2015;51:403–415.

17. Saharan B. s., Nehra V., 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. *LSMR* 21, 1–30.

18. Siegel M. R., Latch G. C. M., Johnes M. C. 1985. *Acremonium* fungal endophytes of Tall Fescue and Perennial ryegrass: significance and control. *Plant Dis.* 69/2: 179 — 183.

19. Soyong K., Kanokmedhakul S., Kukongviriyapa V., Isobe M. Application of *Chaetomium* species (*Ketomium*) as a new broad spectrum biological fungicide for plant disease control. *Fungal Divers.* 2001;7:1–15.

20. Varma A., Verma S., Sahay N., Bütehorn B., Franken P. *Piriformospora indica*, a cultivable plant-growth-promoting root endo-phyte. *Appl. Environ. Microbiol.* 1999;65:2741–2744.

21. Vosátka M., Látr A., Gianinazzi S., Albrechtová J. Development of arbuscular mycorrhizal biotechnology and industry: Current achievements and bottlenecks. *Symbiosis.* 2012;58:29–37.

22. West C. P., Gwinn K. D. 1993. Role of *Acremo-*

nium in drought, pest, and disease tolerance of grasses. *Proc of 2nd International Symposium on Acremonium/grass interactions.* Palmerston North, New Zealand: 131—140.





MODUŁ 2
Praktyczne aspekty i zalety stosowania mikoryzy

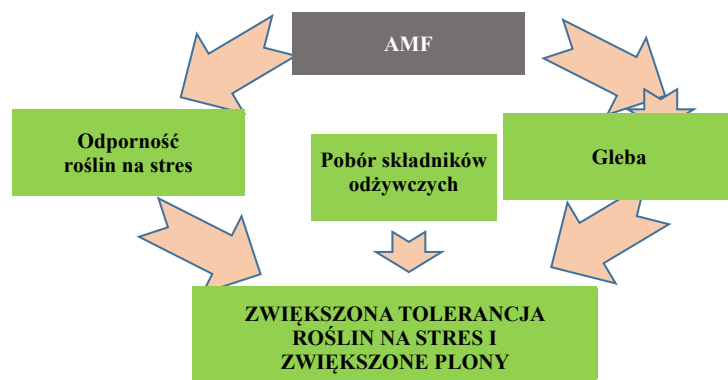


Mikoryza jest grzybem korzeniowym. Odnosi się do wzajemnie korzystnej, symbiotycznej relacji między grzybami a korzeniami roślin. Symbioza ta zaczyna się od kiełkowania zarodników. Kiedy mikoryza kolonizuje korzeń, grzyb tworzy rozległą sieć strzępek w całej glebie. Ta sieć strzępek zwiększa powierzchnię absorpcyjną roślin. Roślina zwiększa możliwości pobierania składników odżywczych i wody przez korzenie. W ten sposób mikoryza zwiększa absorpcję fosforu pierwiastkowego, cynku, manganu, miedzi i wody. Grzyby mikoryzowe pobierają węglowodany od rośliny w tym życiu symbiotycznym.

Ustalono, że na całym świecie w glebie istnieje ponad 150 gatunków grzybów mikoryzowych. Dwie najbardziej powszechne klasy grzybów mikoryzowych są znane jako grzyby ektomikoryzowe i grzyby endomikoryzowe. Istnieje sześć głównych typów mikoryz. Są to ektomikoryzy (EM), mikoryzy arbuskularne (AM), mikoryzy monotropoidalne, mikoryzy arbutoidalne, mikoryzy storczykowate i mikoryzy ericoid. Rolnicy skupiają się głównie na AM i EM, z czego grzyby AM są najbardziej rozpowszechnione w glebach.

Mikoryzy są bardziej korzystne dla roślin uprawianych na glebach ubogich w składniki odżywcze. Inokulacja AM nadaje roślinom gospodarza tolerancję na różne abiotyczne sytuacje stresowe, takie jak zmiany klimatyczne, nadmierne stosowanie nawozów chemicznych i pestycydów, zasolenie i metale ciężkie (rys. 2.1).





Rysunek 2.1. Schematyczne przedstawienie funkcji mikoryz w warunkach stresu abiotycznego (Źródło: Begum i in., 2019)

2.1. Produkcja agroekologiczna w Europie

Przegląd produkcji ekologicznej w Europie. Obecne wykorzystanie mikoryzy w certyfikowanych produkcjach

2.1.1. Przegląd produkcji ekologicznej w Europie

Koncepcja żywności ekologicznej i rolnictwa ekologicznego rośnie z roku na rok w całej UE. Popularność rolnictwa ekologicznego wynika z innowacyjnego charakteru żywności, zwiększonego wsparcia politycznego oraz rosnącego zapotrzebowania na wysokiej jakości, zrównoważoną produkcję żywności w Europie.

Całkowita powierzchnia gruntów rolnych w Unii Europejskiej objętych produkcją ekologiczną odpowiada 8,5% całkowitej użytkowanej powierzchni rolnej w UE-27, z 343 858 producentami i ekologicznym rynkiem detalicznym o wartości 41,5 mld euro w 2019 roku. Cztery kraje członkowskie, Hiszpania, Francja, Włochy i Niemcy wiodą prym. W roku 2019 powierzchnia ich gruntów ekologicznych stanowiła ponad połowę wszystkich gruntów uprawianych ekologicznie w Unii Europejskiej. Kraje te posiadały 57,1% wszystkich obszarów upraw ekologicznych w UE-27.

Komisja Europejska opublikowała ostatnio dwie nowe strategie:

- 1- strategia ochrony różnorodności biologicznej,
- 2- strategia Farm to Fork (F2F).

Strategia Komisji Europejskiej “Farm-to-Fork” mówi o żywności ekologicznej jako sektorze kluczowym dla osiągnięcia celów żywnościowych Europejskiego Zielonego Ładu. Komisja opublikowała również Ekologiczny Plan Działania na lata 2021-2027. Głównym celem strategii Farm to Fork, mającej na celu przekształcenie unijnego rolnictwa, jest zwiększenie udziału żywności i rolnictwa ekologicznego do 25% do 2030 roku. Nowe przepisy ekologiczne wejdą w życie 1 stycznia 2022 r., choć ich wdrożenie zostało opóźnione o rok. Rolnictwo ekologiczne odegra ważną rolę w rozwoju zrównoważonego systemu



żywnościowego dla UE poprzez produkcję wysokiej jakości żywności o niskim wpływie na środowisko.

Pobieranie składników odżywczych i wody dla roślin przez grzyby mikoryzowe jest ważnym zagadnieniem dla rolnictwa ekologicznego i organicznego, ponieważ grzyby mikoryzowe mogą być wykorzystywane w rolnictwie ekologicznym jako ekologiczny nawóz mikrobiologiczny. Mikoryzy mają istotny wpływ na fizjologię roślin i bezpieczną produkcję żywności. Ta relacja między rośliną a mikoryzą jest również ważna dla zdrowia człowieka.

2.1.2. Obecne wykorzystanie mikoryzy w certyfikowanych produkcjach

W rozporządzeniu o rolnictwie ekologicznym zabronione jest stosowanie nawozów łatwo rozpuszczalnych. W rolnictwie ekologicznym niedopuszczalne jest:

- stosowanie nawozów sztucznych,
- chemiczne stosowanie pestycydów,
- stosowanie organizmów modyfikowanych genetycznie (GMO).

Ustanowienie wysoce aktywnej populacji mikrobiologicznej gleby jest jednym z głównych paradygmatów ekologicznych i innych niskonakładowych systemów rolniczych. Mikoryzy mogą być bardzo ważnym i użytecznym źródłem bio-nawozów/nawozów mikrobiologicznych dla

rolnictwa ekologicznego i produkcji ekologicznej. Mikoryzy są również ważnym narzędziem środowiskowym dla zrównoważonego rozwoju, pomagając w redukcji emisji dwutlenku węgla, umożliwiając nam przetrwanie na planecie.

2.2. Korzyści dla gleby

Grzyby mikoryzowe potrzebują roślin względu na zapotrzebowanie na cukry. Grzyby wiążą cząstki gleby, zwiększają biomasę, zwiększają zdolność zatrzymywania wody w glebie, zastępują szkodliwe substancje chemiczne, zwiększają pobieranie fosforu, cynku i innych składników odżywczych, zwiększają tolerancję na suszę i zasolenie, zatrzymują węgiel w glebie, chronią roślinę przed nicieniami i innymi szkodnikami.

Czego rośliny oczekują od gleby?

Odżywianie roślin w warunkach naturalnych pochodzi z dwóch źródeł:

- organiczne - przekształcone w proste pierwiastki przez mikroorganizmy rozkładające materię organiczną,
- nieorganiczne w postaci minerałów ze skał, piasku lub materiałów ilastych.

Ze 118 pierwiastków i 3800 minerałów występujących na Ziemi, rośliny potrzebują w sumie tylko 20. Gdy roślina ma kontakt z powietrzem, dostarcza z atmosfery wodę, węgiel, wodór i tlen. Pozostałe 17 pierwiastków rośliny



pobierają z gleby poprzez swoje korzenie. Te 17 pierwiastków dzieli się na dwie grupy:

1- Makroelementy: Azot, fosfor, potas, wapń, magnez i siarka.

2- Mikroelementy: Żelazo, mangan, bor, cynk, miedź, molibden, chlor, nikiel, sód, kobalt i krzem.

Rośliny są uzależnione od tych podstawowych elementów i nie mogą zakończyć normalnego cyklu życia bez pobierania ich z gleby i środowiska. Nadmierna uprawa, zagęszczanie, zalewanie lub długotrwałe narażenie na działanie środków chemicznych, takich jak nawozy chemiczne i pestycydy, powodują niską jakość gleby i zmniejszone pobieranie składników odżywczych przez rośliny.



2.2.1. Poprawa jakości gleby w porównaniu z nawozami chemicznymi.

Korzyści płynące z zastosowania mikoryzy w glebie

Struktura gleby zależy przede wszystkim od agregacji cząstek glebowych i przestrzeni porowych w glebie. Za-

chowanie struktury gleby jest kluczowe dla utrzymania jej funkcji i żyzności. Grzyby mikoryzowe odgrywają ważną rolę w agregacji gleby poprzez sieć strzępek i produkcję glomaliny, hydrofobowej glikoproteiny. Glomalina jest bardzo odporna na rozkład mikrobiologiczny i gromadzi się w glebie. Komórki AM wydzielają różne kwasy organiczne, które rozpuszczają minerały w ryzosferze gleby i udostępniają je roślinie. Obecność mikoryzy w glebie jest niezbędna do utrzymania właściwości fizycznych gleby.

Korzyści z lepszej struktury gleby to:

- większa infiltracja wody i zdolność zatrzymywania wody,
- większa przepuszczalność powietrza,
- lepszy rozwój korzeni,
- lepsza przepuszczalność i odporność na erozję
- większa aktywność mikrobiologiczna i obieg składników odżywczych.

Uważa się, że mikoryza wpływa na wzrost i zwiększenie jakości upraw rolnych i ogrodniczych. Większość gleb na ziemi naturalnie zawiera grzyby mikoryzowe. Ponieważ grzyby mikoryzowe produkują bardzo cienkie strzępki, które mogą być 100 razy dłuższe od korzeni gospodarza, są często wystarczające dla odpowiedniej kolonizacji, zwłaszcza w zdegradowanych glebach. Strzępki grzybów mikoryzowych mogą penetrować głębiej w profilu gleby do absorbowania składników odżywczych i wody, służąc



jako rozszerzenie systemu korzeniowego rośliny. Mikoryza szczególnie poprawia pobór fosforu i innych niezbędnych składników odżywczych przez roślinę gospodarza. Dlatego mikoryza może być bardziej korzystna dla wzrostu roślin w glebach o niskiej dostępności fosforu. Mikoryza odgrywa również ważną rolę w pobieraniu wielu innych składników odżywczych, zwłaszcza cynku, miedzi, żelaza, azotu, potasu, wapnia i magnezu. Niektóre wydzieliny chemiczne AM są również toksyczne dla patogenów glebowych, takich jak nicienie, i mogą pomóc w ochronie roślin rosnących w glebach zawierających wysokie stężenie soli i metali toksycznych.

2.2.2. Rola mikoryz w porównaniu z nawozami chemicznymi/syntetycznymi dla poprawy jakości gleby.

Przewiduje się, że w 2050 roku liczba ludności świata przekroczy 9 miliardów. Jeśli jednak nie uda się zwiększyć produktywności w rolnictwie, obecna produkcja żywności będzie niewystarczająca, aby sprostać wymaganiom rosnącej populacji światowej. W tym okresie konieczne będzie wdrożenie technologii przyjaznych dla środowiska, takich jak biopozycjonowanie oparte na mikoryzie, w celu zapewnienia zrównoważonego rozwoju rolnictwa i środowiska.

Główne rodzaje nawozów podstawowych stosowanych w rolnictwie

Nawozy chemiczne, syntetyczne: Nawozy chemiczne lub syntetyczne syntetyzowane z substancji pochodzenia naturalnego, produktów ubocznych i przemysłu naftowego. Ich głównym zastosowaniem jest zaspokojenie potrzeb makroelementowych rośliny poprzez dostarczenie azotu, fosforu i potasu. Stosowanie nawozów chemicznych może zabijać pożyteczne mikroorganizmy w glebie i tworzyć nieodpowiednie środowisko dla innych organizmów ze względu na naturalne zakwaszenie.

Produkty pochodzenia naturalnego: Niektóre produkty pochodzenia naturalnego, takie jak fosforan skalny, guano, wapno i zielony piasek. Nie są to zasoby trwałe. Nawozy te rozkładają się powoli w glebie i są korzystne dla zdrowego systemu makrobiotycznego.

Nawozy organiczne, naturalne: Nawozy organiczne są otrzymywane z materiałów organicznych, takich jak resztki roślinne, zielony kompost, obornik, łącznie z mikroorganizmami, takimi jak bakterie i grzyby. Nawozy te dostarczają roślinie wszystkich niezbędnych makroelementów, mikroelementów i pierwiastków śladowych. Co ważniejsze, pomagają one stworzyć zdrowe, wspierające środowisko dla pożytecznych mikroorganizmów, grzybów i owadów.



Biofertyzery: W wyniku badań nad wykorzystaniem mikroorganizmów w żywieniu roślin pojawiło się pojęcie biofertyzacji mikrobiologicznej.

Grzyby mikoryzowe jako bio-nawóz

Wyniki badań naukowych wykazały skuteczność działania grzybów mikoryzowych w porównaniu z innymi nawozami syntetycznymi lub chemicznymi w warunkach stresowych dla gleby i rośliny. AM przynoszą korzyści dla roślin, ekosystemów i ludzi. Dla roślin AM jest bardzo przydatny do zwiększenia poboru składników odżywczych, zwłaszcza fosforu pierwiastkowego. Tempo wnikania składników odżywczych, fosforu do strzępek AM może być do 6 razy szybsze w korzeniach roślin “zakazanych” AM w porównaniu do roślin “niezakazanych” AM. Rośliny potrzebują AM, aby ułatwić przekształcanie materii organicznej po nawożeniu.

2.3. Korzyści dla roślin

2.3.1. Poprawa jakości upraw w porównaniu z nawozami chemicznymi.

Korzyści z mikoryzy dla odżywiania roślin

Mikoryza pobiera składniki odżywcze i wodę z gleby, tworzy dużą sieć korzeniową i odżywia roślinę. Mikoryzowe systemy korzeniowe i strzępki mogą zwiększyć po-

wierzchnię chłonną korzeni 10 do 1000 razy. To znacznie poprawia zdolność roślin do wykorzystania zasobów gleby. Grzyby AM mogą absorbować i przenosić niezbędne dla wzrostu roślin makro- i mikroelementy, zwłaszcza fosforany. AM mogą również zwiększać powierzchnię brodawek i zdolności wiązania azotu atmosferycznego u roślin strączkowych. AM ma bezpośredni wpływ na strukturę gleby. Ponieważ roślina żywicielska przekazuje 20% całego węgla stałego swojemu partnerowi grzybowemu, AM może produkować znaczną biomasę w glebie.

2.3.2. Mikoryza w porównaniu z nawozami chemicznymi dla poprawy jakości upraw

Poziom składników odżywczych w glebie po zbiorach zmniejsza się, ponieważ rośliny pobierają składniki odżywcze z gleby. Dlatego te zmniejszone składniki odżywcze muszą być kompensowane przez naturalny proces rozkładu lub nawożenie.

Nawozy to substancje używane do dostarczania składników odżywczych do gleby w celu zwiększenia jej żyzności i wzrostu roślin. Nawozy chemiczne zwiększają produkcję roślinną, ale ich nadmierne stosowanie utwardza glebę, zmniejsza żyzność, wzmacnia działanie pestycydów, zanieczyszcza powietrze i wodę oraz uwalnia gazy cieplarniane. Chociaż nawozy mają zalety, niosą również zagrożenia dla zdrowia ludzi i środowiska. Nawozy che-



miczne pomagają roślinom rosnać szybciej, ale rośliny te nie będą zdrowe i często nie mają wystarczająco dużo czasu, aby rozwinąć dobry system korzeniowy, silne łodygi lub wysokiej jakości owoce i warzywa. Oczywiście jest, że stosowanie nawozów chemicznych zabija korzystne owady, grzyby i bakterie w glebie, które są nazywane mikroorganizmami przyjaznymi dla gleby.

W rezultacie nawozy chemiczne zagrażają roślinom, glebie, środowisku, zdrowiu zwierząt i ludzi. Nawozy organiczne są najlepszym rozwiązaniem zapobiegającym zanieczyszczeniu gleby i wielu innym zagrożeniom dla środowiska i życia. Niekorzystny wpływ syntetycznych substancji chemicznych na zdrowie ludzi i środowisko można ograniczyć lub wyeliminować jedynie poprzez przyjęcie nowych praktyk technologicznych w rolnictwie, takich jak organiczne środki produkcji, bio nawozy, biopestycydy, nawozy o spowolnionym uwalnianiu i nano nawozy.



2.4. Korzyści dla środowiska

2.4.1. Porównanie wpływu na środowisko nawozu chemicznego i mikoryzy.

W ostatnich latach globalne zapotrzebowanie na produkcję i stosowanie pestycydów i nawozów stale wzrasta wraz ze wzrostem liczby ludności. Oczywiście jest, że w ciągu najbliższych 30 lat wraz ze wzrostem powierzchni upraw zostanie zużyta większa ilość nawozów. Jednakże pestycydy i nawozy mają negatywny wpływ na zrównoważony rozwój środowiska.

Grzyby mikoryzowe mają ogromne znaczenie dla naszej planety i ludzkości. Mikoryzy odgrywają ważną rolę w tworzeniu i utrzymaniu globalnych ekosystemów, tworząc wzajemną symbiozę z ogromną większością roślin lądowych. Mają również duży potencjał do wykorzystania w celu ułatwienia realizacji różnych programów zrównoważonego rozwoju w rolnictwie, ochrony gleby i agro/leśnej/pastwiskowej restytucji, zwłaszcza w kontekście globalnych zmian klimatycznych i wyczerpania zasobów naturalnych.

2.4.2. Wpływ mikoryzy na środowisko

Ponad 50% ludności świata jest żywiona produktami wyhodowanymi w wyniku stosowania nawozów syntetycznych. Wiadomo, że odżywanie roślin jest najważniejszym

czynnikiem kontrolującym wydajność i jakość rolnictwa. Na stałych terenach rolniczych gleba będzie bardzo uboga i nieproduktywna pod względem składników odżywczych. Nawożenie zawsze ma priorytet wśród działań rolniczych. Jednak nadmierne stosowanie nawozów zagraża zdrowiu i środowisku. Oczywiście jest, że nadmierne i nieświadome nawożenie zwiększa zasolenie gleby, powoduje kumulację metali ciężkich, eutrofizację wód i nagromadzenie azotanów. Uwalnianie do powietrza gazów zawierających azot i siarkę powoduje problemy takie jak efekt cieplarniany. Niektóre nawozy zawierają metale ciężkie i wysokie stężenia radionuklidów. Mogą one gromadzić się w roślinach jako zanieczyszczenia nieorganiczne.

Główne problemy wynikające ze stosowania zbyt dużej ilości nawozów chemicznych:

1) W wyniku stosowania dużych ilości nawozów azotowych może wzrosnąć ilość azotanów w wodzie pitnej i rzekach

2) Ilość fosforanów w wodzie pitnej i rzekach może wzrosnąć w wyniku transportu nawozów fosforowych przez przepływ powierzchniowy

3) W roślinach uprawianych w glebie stosuje się dużą dawkę nawozu azotowego. W jego skład wchodzi substancje rakotwórcze, takie jak nitrozoaminy. Szczególnie ważne w tym kontekście są takie rośliny jak sałata i szpinak

Nawozy chemiczne - Zanieczyszczenie wód: Azot zawarty w nawozach azotowych na terenach rolniczych dociera do środowiska wodnego na trzy sposoby: drenaż, wymywanie i przepływ. W glebie nawozy są przekształcane w azotany przez mikroorganizmy w procesie nityfikacji. W idealnych warunkach rośliny wykorzystują 50% nawozów azotowych zastosowanych w glebie. Większość nawozów azotowych przechodzi zarówno do wód gruntowych, jak i powierzchniowych, nie będąc pobieranymi przez glebę i rośliny.

Problem azotanów w wodach gruntowych należy rozpatrywać w kontekście globalnym. W 22% obszarów uprawnych w Europie stężenie azotanów w wodzie pitnej przekracza zalecane limity stężenia w wodach gruntowych (11,3 mg/L). Azotany i fosforany zawarte w nawozach wpływają również na biologię zbiorników wodnych. Eutrofizacja prowadzi do powstania toksycznego środowiska i powoduje śmierć fauny i flory wodnej.

Nawozy chemiczne - zmiany klimatyczne: Nawozy składają się z substancji i związków chemicznych, które swoimi emisjami przyczyniają się do zwiększenia ilości gazów cieplarnianych w środowisku, takich jak metan, dwutlenek węgla, amoniak i azot oraz powodują globalne ocieplenie. Znaczne ograniczenie powstawania gazów cieplarnianych następuje we wszystkich ekosystemach na Ziemi, w których występuje wysoka zawartość mikoryzy



w faunie i florze glebowej. Choć zmiany klimatyczne mają negatywny wpływ na mikoryzę, to mikoryza jest zagrożeniem, na które należy położyć nacisk w ograniczeniu skutków zmian klimatycznych.

Nawozy chemiczne - Zdrowie człowieka: Azot, metale ciężkie i inne substancje chemiczne znajdujące się w nawozach mogą również wpływać na źródła wody pitnej. Jednym z najczęstszych skutków działania azotu jest rozwój zespołu niebieskiego dziecka. Stosowanie nawozów i pestycydów do trawników może stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi, zwłaszcza dzieci, powodując raka i choroby przewlekłe.

2.4.3- Wpływ mikoryzy na środowisko

Mikoryza jest zieloną alternatywą dla nawozów mineralnych. Zdolność grzybów mikoryzowych do akumulacji metali ciężkich i radionuklidów czyni je możliwymi kandydatami do odbudowy i remediacji skażonej gleby i środowiska. Jako użyteczny bio-stymulant dla rolnictwa, grzyby mikoryzowe mogą przyczynić się do lepszej jakości upraw i wyższych plonów przy mniejszej ilości nawozów. Grzyby te przyczyniają się do pobierania przez korzenie roślin składników odżywczych ze znacznie większej objętości gleby. To z kolei może pomóc zapobiec wyciekowi składników odżywczych do wód gruntowych i środowiska.



2.5 - Korzyści gospodarcze

2.5.1-Bilans ekonomiczny, oszczędności kosztów, porównawczy koszt produkcji.

“Inokulanty mikoryzowe jako bioinokulanty i zastosowanie komercyjne”

Wiele aktywnych lub uśpionych szczepów bakterii, grzybów lub kombinacji zwanych bioinokulantami/bio-nawozami stosuje się w celu zwiększenia plonów roślin uprawnych. Te bio-nawozy są bezpieczne w użyciu i wymagane są tylko niewielkie ich ilości, ponieważ mają one zdolność do szybkiego namnażania się.



Stosowanie inokulacji mikoryzowych jako bioinokulantów rozpoczęło się w połowie lat 90-tych. Rolnicy mogą dużo zaoszczędzić, jeśli będą używać mniej nawozów. Rośliny, u których występują związki mikoryzowe, mają lepiej rozwinięty system korzeniowy. Stare przysłowie ogrodnicze mówi: “Roślina z lepszymi korzeniami to lepszy stan ogólny rośliny.”

Rynek europejski stanowi jeden z wiodących rynków dla biostymulantów mikoryzowych. Wielorakie korzyści płynące z AM zwiększyły możliwości jej komercyjnego zastosowania. W rezultacie rynki związane z AM znacznie się rozwinęły w ostatnich latach zwiększając liczbą podmiotów oraz produktów.

Średnia cena za roślinę waha się od 10 do 50 centów w stosunku do cen detalicznych dla hobbystów i półprofesjonalnych użytkowników. Koszt inokulacji mikoryzowej dla profesjonalnych zastosowań na skalę rolniczą to szacowana inwestycja 135 dolarów na hektar w przypadku ziemniaków w Stanach Zjednoczonych. Oprócz czystych inokulantów grzybowych AM stosuje się inokulanty mieszane, czasami w połączeniu z grzybami ektomikoryzowymi lub rizobakteriami promującymi wzrost roślin.

2.5.2. Zalety i korzyści rolnicze z zastosowania inokulacji mikoryzowych

Inokulacje mikoryzowe;

Pierwsza zaleta – większa wydajność w absorpcji składników odżywczych przez rośliny. Mikoryza może przechowywać składniki odżywcze w czasie nadmiaru i udostępnić je w czasie niedoboru lub stresu roślin.

Drugą zaletą mikoryzy jest poprawa pobierania wody z ryzosfery. Mikoryzy mogą magazynować wodę, gdy jest jej nadmiar i udostępnić ją roślinie w czasie suszy. Mikoryzy działają jak bufor, regulując przepływ wody do rośliny.

Korzyści płynące z zastosowania inokulantów mikoryzowych:

- zmniejszona ilość niedoborów żywieniowych,
- potencjalne zmniejszenie zużycia nawozów,
- opóźnione wędnięcie,
- odporność na toksyczność soli i pojawiające się stresy,
- zmniejszony atak chorób korzeni,
- poprawa wzrostu i zwiększenie plonu.

2.5.3. Korzyści ekonomiczne z zastosowania inokulantów mikoryzowych

Korzyści z inokulantów mikoryzowych różnią się w zależności od typu hodowcy i typu klienta. Przykładowy schemat korzyści ekonomicznych dla hodowcy/detalisty można podsumować w czterech pozycjach, jak poniżej:



1) Rośliny zaczynają odnosić korzyści po 4 tygodniach od zastosowania: mniejsze zapotrzebowanie na aplikowane składniki odżywcze i zmniejszenie stresu związanego z suszą.

2) Hodowca zaczyna widzieć korzyści po 8 tygodniach od zastosowania: lepsze kwitnienie, zwiększenie atrakcyjności roślin.

3) Rośliny będą wyglądały lepiej i będą miały potencjał do lepszej sprzedaży detalicznej: ciemnozielone, zdrowo wyglądające rośliny wpływają na zwiększenie popytu klientów.

4) Klienci odnoszą większe sukcesy w swoich ogrodach: oznacza to mniejszy szok transplantacyjny/mniejszą utratę roślin i wyższe plony, zwiększoną lojalność klientów sklepu.

2.5.4. Dostępność handlowa inokulantów mikoryzowych

Główne problemy związane z ekonomicznym wykorzystaniem inokulantów to:

- Mały sukces
- Wydatki
- Certyfikacja marek, a także gwarancja ich skuteczności

Te wady zniechęcają rolników do zakupu inokulantów.

Rolnicy nie są pewni, że dany preparat będzie działał na ich ziemi. Alternatywne produkty handlowe obejmują te, które zostały stworzone w celu zachęcenia do użycia lokalnych AM dla większej skuteczności. Wydajność i/lub rentowność to jedyny sposób, aby uzyskać wyobrażenie o korzyściach ekonomicznych płynących z AM. W przypadku, gdy grzyby AM przyczyniają się do pobierania fosforu, korzyści mogą być mierzone w kategoriach oszczędności w nawozie fosforowym. Niewiele uwagi poświęca się potencjalnym oszczędnościom nawozów azotowych. Jednak ściśle powiązania między cyklami fosforu i azotu sprawiają, że inokulanty mikoryzowe są tak ważne.

Prostym sposobem na oszacowanie korzyści ekonomicznych z inokulantów mikoryzowych jest obliczenie wartości produkcji roślinnej z mikoryzami i bez nich. Można rozważyć strategię minimalizacji ryzyka, które radzą sobie z niektórymi lub wszystkimi czynnikami, które utrudniają realistyczną ocenę ekonomiczną mikoryz.

W związku z tym korzyści uzyskane ze zwiększonego pobierania składników pokarmowych przez rośliny przy zastosowaniu inokulantów powinny być uwzględnione przy kalkulacji ekonomiki kosztów stosowania inokulantów mikoryzowych.





1. Jakie są dwie najczęściej spotykane klasy grzybów mikoryzowych?

- a. ektomikoryzowe i endomikoryzowe
- b. monotropoidalne i arbutoidalne
- c. mikoryza storczyków i ericoidów

2. Głównymi czynnościami zabronionymi w rolnictwie ekologicznym jest:

- a. Stosowanie nawozów syntetycznych oraz pestycydów chemicznych
- b. stosowanie organizmów modyfikowanych genetycznie (GMO)
- c. wszystkie

3. AM jest bardzo przydatna do zwiększania poboru składników odżywczych.....

- a. srebro
- b. fosfor
- c. cukier

4. Wiele aktywnych lub uśpionych szczepów bakterii lub grzybów lub ich kombinacji to:

- a. bioinokulant/bio-nawóz
- b. nawóz chemiczny
- c. pestycydy

5. Jakie są główne problemy z ekonomicznym wykorzystaniem inokulantów?

- a. mały sukces i wydatki
- b. certyfikacja marek i gwarancja ich skuteczności
- c. wszystkie



Referencje

1. Abbott, L.K., Lumley, S., 2014. Assessing Economic Benefits of Arbuscular Mycorrhizal Fungi as a Potential Indicator of Soil Health. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.
2. Azmat, R., 2013. Possible Benefits of Mycorrhizal Symbiosis, in Reducing CO2 from Environment. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 51 (2013): 1-6.
3. Basiru, S., Mwanza, H.P., Hijri, M., 2021. Analysis of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculant Benchmarks. Microorganisms, 9(81): 1-18.
4. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N., Zhang, L., 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. Frontiers in Plant Science, 10 (1068):1-15.
5. Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., Bianciotto, V., 2016. Arbuscular Mycorrhizal Fungias Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. Frontiers in Microbiology, 6 (1559): 1-13.
6. Chandini, Kumar, R., Kumar, R., Prakash, O., 2020. The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem. In book: Research Trends in Environmental Sciences, Edition: 2nd, Chapter: 5., pp 70-86.
7. Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., Reinhardt, D., 2018. Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – From Ecology to Application. Frontiers in Plant Science 9(1270):1-14.
8. Corsi S, Muminjanov H. Conservation Agriculture: Training guide for extension agents and farmers in Eastern Europe and Central Asia. Rome. FAO. 2019.
9. Davis, J.G., 1994. Managing Plant Nutrients for Optimum Water use Efficiency and Water Conservation. Advances in Agronomy, 53 (1994): 85-120.
10. Dighton, J., 2009. Mycorrhizae. Encyclopedia of Microbiology (Third Edition) 2009, Pages 153-162.
11. Field, K.J., Daniell, T., Johnson, D., Helgason, T., 2020. Mycorrhizas for a changing world: Sustainability, conservation, and society. Plant People Planet, 2020 (2): 98–103.
12. Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., Bending, G.D., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 113 (2006): 17-35.
13. Hodge, A., Gosling, B., Goodlass, G., 2003. Dr G Bending HRI Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Organic Farming. Defra Project OF0333.
14. <http://mycorrhizae.org.in/>
15. <http://www.mykepro.com/mycorrhizae-benefits-application-and-research.aspx>
16. <http://www.mykepro.com/mycorrhizae-benefits-application-and-research.aspx>
17. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Organic_farming_statistics
18. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Organic_farming_statistics



19. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/organic-farming/organic-production-and-products_en
20. https://en.wikipedia.org/wiki/Mycorrhizae_and_climate_change
21. <https://gpnmag.com/article/mycorrhizae-description-of-types-benefits-and-uses/>
22. <https://halfhillfarm.com/2013/04/12/using-mycorrhizal-fungi-in-organic-farming/>
23. <https://landscape-water-conservation.extension.org/benefits-of-mycorrhizae/>
24. <https://learn.eartheasy.com/guides/the-best-organic-fertilizers-to-double-your-harvest/>
25. <https://mycorrhizaworld.de/hp581/Common-benefits-of-Mycorrhiza.htm>
26. <https://www.environment.co.za/environmental-issues/how-do-fertilizers-affect-the-environment.html>
27. <https://www.fibl.org/en/info-centre/news/european-organic-market-grew-to-euro-45-billion-in-2019>
28. <https://www.horizononline.com/benefits-of-mycorrhizal-fungi-how-do-mycorrhizal-fungi-benefit-plants/>
29. <https://www.kelloggsgarden.com/blog/fertilizer/the-advantages-of-organic-fertilizers-over-chemical-fertilizers/>
30. <https://www.organicresearchcentre.com/news-events/news/mycorrhiza-as-green-alternative-for-mineral-fertilisers/>
31. <https://www.organicseurope.bio/about-us/organic-in-europe/>
32. https://www.planetnatural.com/mighty-mycorrhiza/?_cf_chl_jschl_tk__=pmd_a0Ddlf2ZzCTqaquuy26C-NvULlf0Z_5N9NMnR_C1ZyGA-1634978783-0-gqNtZG-zNAmWjcnBszQjR
33. <https://www.pthorticulture.com/en/training-center/urban-horticulturists-see-the-benefits-of-mycorrhizal-fungi/>
34. <https://www.pthorticulture.com/en/training-center/urban-horticulturists-see-the-benefits-of-mycorrhizal-fungi/>
35. https://www.youtube.com/watch?v=_qR9ROo5kiw
36. Kaur, R., Singh, A., Kang, J.S., 2014. Influence of Different Types Mycorrhizal Fungi on Crop Productivity. *Curr. Agri. Res. Jour.*, 2(1): 51-54.
37. Kozjek, K., Kundel, D., Kushwaha, S.K., Olsson, P.A., Ahrén, D., Fliessbach, A., Birkhofer, B., Hedlund, K., 2021. Long-term agricultural management impacts arbuscular mycorrhizal fungi more than short-term experimental drought. *Applied Soil Ecology* 168 (2021): 1-11.
38. Ludovici, K.H., 2004. Soil biology and tree growth. Tree roots and their Interaction with Soil. *Encyclopedia of Forest Sciences*, 2004: 1195-1201.
39. Mahmood, I., Rizvi, R., 2010. Mycorrhiza and Organic Farming. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9: 241-248.
40. Malusá, E., Vassilev, N., 2014. A contribution to set a legal framework for biofertilisers. *Appl Microbiol Biotechnol*, (2014): 98:6599-6607.



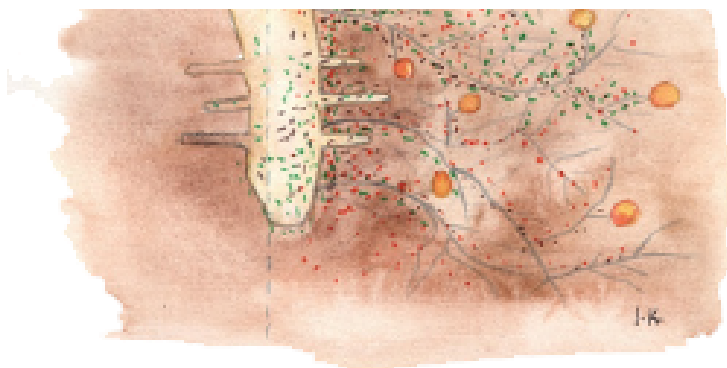
41. Meemken, E-M., Qaim, M., 2018. Annual Review of Resource Economics Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 2018(10):39-63.
42. Ortaş, İ., 2019. Role of Microorganisms (Mycorrhizae) in Organic Farming. In "Organic Farming, Global Perspectives and Methods", Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2019, pp. 181-211.
43. Pingping, F., Abler, D., Lin, G., Sher, A., Quan, Q., 2021. Substituting Organic Fertilizer for Chemical Fertilizer: Evidence from Apple Growers in China *Land*, 10 (858):1-24.
44. Posta, K., Duc, N.H., 2019. Benefits of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Application to Crop Production under Water Scarcity. In book: *Drought (Aridity)* [Working Title], IntechOpen.
45. Przybyłko, S., Kowalczyk, W and Wrona, D., 2021. The Effect of Mycorrhizal Fungi and PGPR on Tree Nutritional Status and Growth in Organic Apple Production *Agronomy* 2021, 11, 1402: 1-15.
46. Samuel, S.S., Veeramani, A., 2021. Advantages of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Production for the Profitability of Agriculture and Biofertilizer Industry. IntechOpen.
47. Savcı, S., 2012. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia* 1 (2012): 287-292.
48. Sudiarti, D., 2021. The Effectiveness Of Organic Fertilizer And Micoriza Arbuscula On Growth And Productivity Green Eggplant (*Solanum Melongena L.*). *International Journal of Applied Biology*, 5(1): 5-21.
49. Wang, F., Adams, C.A., Yang, W., Sun, Y., Shi, Z., 2020. Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi in reducing organic contaminant residues in crops: Implications for cleaner agricultural production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(15): 1580-1612.
50. www.organic-world.net
51. Yngve, K.L., 2020. Arbuscular mycorrhiza in landrace and modern wheat – Its impact on plant performance and how it is influenced by plant breeding and modern cropping practice. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
52. Zoe L., Getman-Pickering, George M. Stack, Jennifer S. Thaler, 2021. Fertilizer quantity and type alter mycorrhizae-conferred growth and resistance to herbivores. *Journal of Applied Ecology*, 58 (5): 931-940.





MODUŁ 3
Metody wytwarzania mikoryzy





3.1. Wstęp

Produkcja żywności wymaga zastosowania alternatywnych rozwiązań w celu zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska. Wśród nich możemy wyróżnić zastosowanie bio-nawozów z pożytecznych mikroorganizmów, w tym mikoryzy. Mikroorganizmy te ewoluowały razem z roślinami osiągając wysoki poziom symbiozy. Mikoryza uzależniona jest od rośliny w zakresie dostarczania węgla, energii i niszy ekologicznej, a w zamian zwiększa się objętość eksplorowanej gleby poprzez dodatkowy system absorpcyjny (sieć strzępek), uzyskując większą efektywność w pobieraniu wody i składników pokarmowych. Ponadto ma ona również inne korzyści dla rozwoju rośliny, takie jak stymulacja substancji regulujących wzrost, zwiększenie tempa fotosyntezy, zwiększenie odporności na szkodniki, tolerancja na stresy środowiskowe [1]. Związek ten

występuje naturalnie u około 90% roślin, więc występuje we wszystkich ekosystemach na świecie. Wiele grzybów typu mikoryzowego występuje w różnych typach gleb i klimatach, co wskazuje, że mogą być one przystosowane do zróżnicowanych siedlisk [2].

Obecnie wykorzystanie grzybów mikoryzowych w rolnictwie bardzo się rozpowszechniło. Jednak większość roślin stosowanych w nowoczesnej uprawie jest produkowana w szkółkach i nie może być naturalnie zaszczipiona mikoryzą. Dlatego konieczne jest wyprodukowanie wysokiej jakości inokulum, którym można potraktować rośliny, które będą wykorzystywane w rolnictwie konwencjonalnym.

Największy problem w przypadku produkcji inokulum wynika z faktu, że mikoryzy są symbiontami obligatoryjnymi, czyli potrzebują rośliny do wzrostu i rozmnażania. Dlatego też proces rozmnażania zakłada wykorzystanie roślin żywicielskich, z którymi może zakończyć swój cykl życiowy i ostatecznie wytworzyć zarodniki lub inne propagule. Roślina żywicielska musi być wysiana w pokrewnym podłożu. Podłoże to musi również umożliwiać obfitą produkcję inokulum, łatwą obsługę, dostosowanie do obszaru i niski koszt [3].

Do chwili obecnej opracowano kilka różnych technik uprawy. Każda metoda ma inne zalety i wady, które czy-



nią ją bardziej odpowiednią w zależności od celu hodowcy i skali zastosowania. Trzy główne kategorie to produkcja oparta na podłożu, produkcja bez podłoża oraz produkcja in-vitro, które zostaną opisane w kolejnych rozdziałach.

3.2. Produkcja na bazie substratów

Najczęściej stosowaną metodą wytwarzania inokulum jest rozmnażanie mikoryzy z wykorzystaniem rośliny żywicielskiej poprzez normalną kulturę i przy użyciu zwykłego podłoża. Metoda ta polega na uprawie rośliny inokulowanej interesującym nas grzybem i oczekiwaniu na wzrost jej korzeni - w ten sposób wraz ze wzrostem korzeni wzrośnie ilość biomasy grzyba. Później pozostaje już tylko zebrać zarodniki lub wykorzystać część korzeni rośliny żywicielskiej jako nowe inokulum [4]. Ta prosta metoda może być stosowana zarówno w doniczce, uzyskując duże ilości materiału poprzez zwiększenie rozmiaru doniczek, jak i na zewnątrz, jeśli warunki pogodowe są sprzyjające[5]. Zaleca się jednak prowadzenie namnażania mikroorganizmów w warunkach chronionych, np. w szklarni, w celu kontroli parametrów wzrostu.

Pierwszym krokiem jest wybór lub identyfikacja interesującego nas organizmu, który będzie podstawą naszej kolonii i który może być pojedynczym organizmem (czysta kultura) lub konsorcjum pożytecznych organizmów. Starter ten można pozyskać z publicznych lub prywatnych

kolekcji kultur, komercyjnie lub poprzez izolację pożytecznego mikroorganizmu z wcześniej zaszczepionych roślin uprawnych lub dzikich. Izolacja dzikich roślin nie jest zalecana, jeśli nie mamy wiedzy pozwalającej na uzyskanie czystych kolonii, ponieważ istnieje ryzyko zanieczyszczenia przez inne mikroorganizmy[6].



Rysunek 3.1. Przykład rozmnażania na podłożu z wykorzystaniem koniczyny jako rośliny żywicielskiej

Następnie musimy wybrać roślinę żywicielską lub paupkę, na której będzie rozwijać się mikoryza. Pożądane cechy dobrego kandydata na gospodarza do produkcji AM to dobry rozwój systemu korzeniowego, dobry poziom kolonizacji, krótki cykl życia i łatwe zarządzanie agronomiczne. Ponadto rośliny żywicielskie muszą być odporne na niskie poziomy fosforu, ponieważ kilka badań sugeruje, że mikoryzacja korzeni jest zwiększona w glebach o niskim



Substrate propagation detailed protocol:

-Obtain a starter either from a germplasm collection or from field soil with native AM.

-Autoclave the substrate. A low nutrient content mixture such as peat:vermiculite; Vermiculite/perlite, or Vermiculite:sepiolite at a relation 1:1 can be used.

-Mix the substrate with a 10% of starter

-Sow a host plant. Sorghum, clover, maize can be used

-Water with Hoagland or Long Ashton solution or provide any other fertilizer with low content of phosphorus.

-The propagule will be ready once the plant roots are fully developed (6 months approx)

Use of the inoculum

-The substrate mixed with roots can be used directly as inoculum for new substrate at a proportion 1:10. The plants sowed on this substrate will be naturally inoculated

-The substrate can be mixed with water and filtered through a filter to obtain a suspension of AM spores. This suspension can be used to inoculate plants.

poziomie składników odżywczych, zwłaszcza fosforu. Rośliny takie jak cebula (*Allium cepa*), kukurydza (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor*) czy koniczyna (*Trifolium* spp) posiadają wszystkie te cechy i zostały z powodzeniem wykorzystane do produkcji grzybów AM [7].

Kiedy już zdecydujemy się na roślinę żywicielską, którą wykorzystamy do rozmnażania AM, musimy wybrać odpowiednie podłoże. Udowodniono, że można zastosować praktycznie każdy rodzaj podłoża, od najbardziej bogatych w składniki odżywcze do podłoży obojętnych, takich jak perlit, torf kokosowy, korek, keramzyt. W tym przypadku ograniczenia w produkcji mikoryzy na dużą skalę będą związane z potrzebami rośliny żywicielskiej. Powszechnie stosuje się normalną glebę lub glebę piaszczystą, a także torf, kompost w połączeniu z innymi obojętnymi substratami, takimi jak piasek, wermikulit lub perlit. Najlepiej, aby podłoże było mieszaniną podłoża bogatego w składniki odżywcze i podłoża obojętnego w celu osiągnięcia właściwego poziomu składników odżywczych w ostatecznej mieszance [8]. W tym celu można zastosować substraty obojętne, takie jak perlit i wermikulit, aby zmniejszyć ilość składników odżywczych w substratach na bazie torfu. Z drugiej strony, kompost lub inna bogata w składniki odżywcze gleba może być użyta do zwiększenia ilości składników odżywczych w obojętnych lub ubogich w składniki odżywcze mieszaninach (np. gleby piaszczyste). W każdym przypadku ważne jest, aby zapewnić, by podłoże było tak czyste, jak to tyl-



ko możliwe, aby uniknąć zanieczyszczenia krzyżowego z wybraną mieszanką glebową, a tym samym zapewnić, że jedynym mikroorganizmem związanym z naszą rośliną i glebą jest AM. Aby to osiągnąć, podłoże może być sterylizowane przez ciepło, parę wodną (autoklaw), napromieniowanie, gdy używamy małych objętości lub przez zabiegi chemiczne dla dużych objętości.

Tabela 3.1. Przykłady różnych pożywek

Składnik odżywczy	Hoagland & Arnon[9]	Long Asthon[10]	Cooper[11]
N	210	168	200-236
P*	7.75	10.25	15
K	234	156	300
Ca	160	160	170-185
Mg	34	36	50
S	64	48	68
Fe	2.5	2.8	12
Cu	0.02	0.064	0.1
Zn	0.05	0.065	0.1
Mn	0.5	0.54	2
B	0.5	0.54	0.3
Mo	0.01	0.04	0.2

* Stężenie P zostało dostosowane do 25% oryginału w celu poprawy mikoryzacji

Poziom składników odżywczych ma silny wpływ na produkcję rozmnożeń AM albo bezpośrednio albo poprzez wpływ na wzrost roślin. Optymalny poziom składników odżywczych będzie również zależał od użytej rośliny i jej wymagań. W pierwszej kolejności zaleca się stosowanie optymalnych odżywek dla naszej rośliny-gospodarza. Zwiększy to prawidłowy wzrost rośliny i będzie sprzyjać prawidłowemu systemowi korzeniowemu, a także poprawi początkową kolonizację korzeni przez AM. W kolejnych fazach zaleca się jednak lekki niedobór składników pokarmowych, szczególnie niski poziom fosforu, który wiąże się ze zwiększoną kolonizacją AM i produkcją zarodników. Gdy roślina wykryje brak fosforu, jest predysponowana do przeprowadzenia symbiozy z innym mikroorganizmem, który pomaga jej pokonać brak składników odżywczych. W ten sposób ułatwione jest wnikanie strzępek grzyba do komórek korzeni rośliny. Termin dodawania składników odżywczych będzie również wpływał na poziom kolonizacji i produkcję propagul, ponieważ wymagania odżywcze dla rosnących grzybów AM mogą się różnić w czasie. Podczas gdy wysoka dostępność P często hamuje kolonizację, dodanie P w późniejszym etapie może wzmocnić wzrost i sporulację grzybów AM.

Oprócz czynników opisanych powyżej, wiele innych czynników może pośrednio wpływać na kolonizację grzybów AM i wytwarzanie zarodników. Wśród nich możemy znaleźć czynniki wpływające na fotosyntezę lub dystry-



bucję węgla w korzeniach. Właściwości gleby, takie jak pH, temperatura i zawartość wody mogą również wpływać na ten system. Na przykład, niektóre rodzaje mikoryz są wrażliwe na pH, a zmiana gleby z kwaśnej na zasadową może zmniejszyć wzrost AM. Dlatego też, po znalezieniu odpowiedniej kombinacji rośliny żywicielskiej i podłoża dla naszych gatunków mikoryzowych zmiana nie jest zalecana. Kolejnym aspektem, który należy wziąć pod uwagę jest poziom wilgotności. Rośliny, podobnie jak grzyby, muszą mieć dostęp do odpowiedniej ilości wody, ale należy unikać zalania.

Tabela 3.2. Przykładowe roztwory odżywcze Hoagland i Long Ashton gotowe do użycia

Roztwór odżywczy Hoaglanda	
Sól	mg/L
KNO_3	606.6
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	944.8
$\text{NH}_4 \text{H}_2 \text{PO}_4$	34.53
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	493
$\text{H}_3 \text{BO}_3$	2.86
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81
$\text{Zn SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2 \text{O}$	0.22
$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2 \text{O}$	0.08
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2 \text{O}$	0.02
FeEDTA	9.4
$\text{NH}_4 \text{NO}_3$	28

Roztwór odżywczy Long Ashton	
Sól	mg/L
KNO_3	505
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	656
$\text{Na H}_2 \text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2 \text{O}$	52
$\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2 \text{O}$	369
Cytrynian Fe- $5 \text{H}_2 \text{O}$	24.5
Mg SO_4	2.23
$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2 \text{O}$	0.24
$\text{Zn SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2 \text{O}$	0.296
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7 \text{O}_{24} \cdot 2 \text{H}_2 \text{O}$	0.035
NaCl	5.85

Do zainicjowania produkcji można zwykle użyć izolowanych zarodników lub mieszaniny zarodników i fragmentów korzeni wcześniej zaszczipionych roślin. Zarodniki można uzyskać poprzez rozpuszczenie gleby w wodzie i precedzenie mieszaniny przez bibułę filtracyjną. Z drugiej strony, korzenie mogą być wykorzystane jako inokulum po wysuszeniu i pocięciu na małe kawałki. Wreszcie, zaszczipiona gleba może być również użyta bezpośrednio jako starter.

Najszerzej stosowaną techniką uprawy mikoryz jest uprawa w podłożu przy użyciu doniczek, worków z podłożem lub bezpośrednio na ziemi w podniesionych grządkach. Ponadto, technika ta nie wymaga dużych infrastrukturalub drogich materiałów. Ten system jest najbardziej naturalny ze stosowanych i może „działać” prawidłowo dla rozmnażania wielu gatunków mikoryzowych, indywidualnie lub w kombinacjach kilku gatunków. Jeśli używane są substraty obojętne, poziomy składników odżywczych mogą być kontrolowane w celu wspierania inokulacji AM i rozmnażania.

Z drugiej strony główną wadą tej metody rozmnażania jest trudność w uniknięciu zanieczyszczenia innymi mikroorganizmami. Ponadto niezbędny układ może zająć dużo miejsca, a rośliny żywicielskie wymagać będą dodatkowej opieki, takiej jak zwalczanie szkodników. Jeśli chcemy uzyskać zarodniki, podłoże musi być rozcieńc-



zone w wodzie i przefiltrowane, co zwiększa komplikacje wraz ze wzrostem objętości podłoża. Jeśli zdecydujemy się na wykorzystanie korzeni jako inokulum, mogą one być trudne do przygotowania ze względu na pozostałości po podłożach (glinki lub szczątki organiczne). Aby uniknąć tego problemu, można zastosować podłoża obojętne, takie jak perlit lub wermikulit, dzięki którym uzyskuje się czyste korzenie, które można bezpośrednio pociąć na kawałki.



3.3. Systemy bez substratów

Techniki uprawy bez podłoża, zwane również technikami hydroponicznymi, różnią się od metody substratowej tym, że korzenie nie są zakotwiczone w podłożu, lecz rosną swobodnie w roztworze odżywczym, z którego pobierają substancje odżywcze. Technika ta ma wiele wariantów, które z pewnością będą się różnić stopniem trudności. Najprostszą metodą jest metoda mieszana, w której roślina żywicielska rośnie na obojętnym podłożu, które służy jedynie jako „kotwica” i nie dostarcza żadnych składników odżywczych. W tej metodzie rośliny podlewane są pożywką, która zawiera wszystkie składniki pokarmowe niezbędne do prawidłowego rozwoju rośliny, dzięki czemu nie musi ona pobierać ich z podłoża[6,12]. Metody hydroponiczne - w których roślinie brakuje podłoża, w którym zakotwiczone są korzenie - można dodatkowo podzielić na dwa rodzaje. Pierwszy typ to metoda statyczna, w której pożywka nie przepływa, ale pozostaje w tym samym pojemniku. Głównym problemem tej metody jest to, że jako metoda statyczna może powodować braki tlenu dla korzeni (anoksja) i dlatego musi mieć miejsce napowietrzanie za pomocą pompy powietrza. Jednakże takie napowietrzanie powoduje ruchy w roztworze odżywczym, które mogą zaszkodzić prawidłowemu rozwojowi strzępek pozazarodkowych. Aby uniknąć tego problemu, można włączać napowietrzanie na krótkie okresy, aby zminimalizować drgania i ułatwić rozwój strzępek. Inną techniką jest



zastosowanie przepływu składników odżywczych. W tym przypadku rośliny są ułożone na kanałach, gdzie rozwijają się korzenie i AM, przez które roztwór płynie w cienkiej warstwie. Ponieważ roztwór odżywczy przepływa w folii, nie wymaga dodatkowego napowietrzania[13].[14]

Ostatnią metodą produkcji bez podłoża jest aeroponika. W tej metodzie korzenie są całkowicie odsłonięte i nie są przykryte żadnym rodzajem podłoża ani pożywki. W tym przypadku aplikacja składników odżywczych odbywa się poprzez rozpylanie roztworu odżywczego bezpośrednio na korzenie. Rozpylanie to może być wykonane za pomocą pompy z dyszą rozpylającą lub za pomocą nebulizatora[6].

Technika ta nie jest odpowiednia dla wszystkich rodzajów mikoryz. Chociaż została ona z powodzeniem przetestowana na kilku gatunkach z rodzaju *Glomus*, inne gatunki nie wykazały dobrych wyników. Uważa się, że problemy wynikające z braku wzrostu i rozmnażania mikoryz w tej metodzie mogą być związane z nadmierną wilgotnością, ponieważ pomimo utrzymania dobrego napowietrzania, ten rodzaj techniki oznacza utrzymywanie korzeni w stałej wilgotności. Z tego powodu uznano, że technika ta może być przydatna dla mikoryz związanych z roślinami wodnymi, ponieważ grzyby te mogłyby lepiej przystosować się do specyfiki tej techniki.

Ten rodzaj uprawy był z powodzeniem stosowany na wielu gatunkach roślin, takich jak sorgo, pszenica i kukurydza. Wybór rośliny żywicielskiej jest bardzo ważny przy zakładaniu systemu, ponieważ wymagania żywieniowe będą się różnić w zależności od gatunku i dlatego trzeba będzie dostosować rodzaj stosowanej pożywki. Może to również wpłynąć na poziom kolonizacji uzyskany z niektórymi gatunkami grzybów AM i ewentualnie wpłynąć na sporulację.



Rys.3.2. Fragment systemu hydroponicznego z pompą napowietrzającą



Właściwe postępowanie z pożywką jest kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania tej techniki. Jak wspomniano, w technice bez podłoża, rośliny pobierają składniki odżywcze bezpośrednio z roztworu odżywczego i nie mają innego źródła składników odżywczych. Jako starter można zastosować dowolną z konwencjonalnych pożywek, takich jak Hoagland lub Knop, pełną lub rozcieńczoną. Szczególną uwagę należy zwrócić na poziomy fosforu, ponieważ wydają się one kluczowe dla ustanowienia mikoryzacji. Według badań, poziomy fosforu muszą być niższe niż zwykle, aby sprzyjać ukształtowaniu grzyba. Zaleca się również dodanie żelaza w postaci chelatu, aby uniknąć chlorozy roślin, a także molibdenu, aby poprawić mikoryzację grzyba.

Ponadto roztwór odżywczy musi być stale odświeżany, zanim poziom składników odżywczych spadnie do poziomu szkodliwego dla rośliny. Zalecana jest również częsta zmiana roztworu odżywczego w celu uniknięcia zanieczyszczenia przez bakterie, grzyby i algi lub nagromadzenia toksyn uwalnianych przez inne mikroorganizmy.

Roztwór odżywczy musi być dostosowany do potrzeb upraw, a więc oprócz tego, że składniki odżywcze są dostępne w formie przyswajalnej dla roślin, należy zadbać o pH i temperaturę. Idealnie pH powinno mieścić się w przedziale od 6,5 do 7,2, w którym zarówno rośliny jak i mikroorganizmy mogą rozwijać się bez problemów.

Barwienie mikoryz w korzeniach[14]

Za pomocą tej metody można sprawdzić, czy korzenie rośliny żywicielskiej w którymś z systemów są prawidłowo zaszczepione.

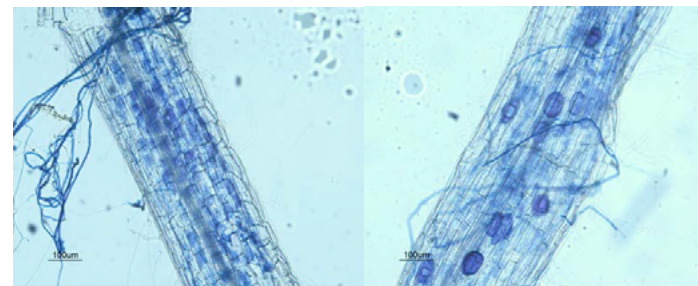
- Korzenie są oczyszczane (usuwanie zawartości cytoplazmatycznej z komórek) za pomocą gorącego 10% KOH. Stosowane są różne metody, od autoklawowania kaset przez 5-10 minut do gotowania ich w jakimś pojemniku na stanowisku laboratoryjnym.

- Po oczyszczeniu korzenie gotuje się (95°C) przez co najmniej 3 minuty w roztworze atramentu z octem (5% kwas octowy).

- Po wybarwieniu korzenie płucze się kilkakrotnie przez ponad 20 minut zakwaszoną wodą z kranu (do wody dodać kilka kropli kwasu octowego). Jeżeli woda do płukania nie jest zakwaszona i ma wysokie pH (neutralne jest wysokie), korzenie ulegną przebarwieniu.

- Korzenie są gotowe do wizualizacji

- Jeśli jest to pożądane, zabarwiony grzyb może być całkowicie zniszczony przez ponowną inkubację korzenia w KOH



Fragment korzenia ze strzępkami i arbuskulami Fragment korzenia ze strzępkami i pęcherzykami

Rys. 3.3. Korzeń Mikoryzy



Wśród zalet, które możemy znaleźć w uprawie wolnej od podłoża jest produkcja inokulum wolnego od cząstek gleby. Korzenie uzyskane tą techniką mogą być pocięte na małe kawałki i wykorzystane bezpośrednio jako inokulum lub przechowywane przez pewien czas. Podobnie zarodniki można również uzyskać bez konieczności przerywania cyklu życiowego grzyba. Kolejną zaletą tego systemu w porównaniu z systemem glebowym jest możliwość monitorowania pH i aplikowanych składników odżywczych oraz dostosowywania ich do uprawy, ponieważ zależą one tylko od pożywki, a tę znacznie łatwiej jest modyfikować niż podłoże.

Jako główne wady możemy wskazać, że systemy produkcyjne bez podłoża służą jedynie do namnażania korzeni zaszczerpionych roślin, ale nie nadają się do wstępnej inokulacji. Dlatego też konieczna jest inokulacja i kilkutygodniowa uprawa roślin w systemie produkcji z substratem. Po prawidłowym zaszczerpieniu roślin mikoryzą, można je przenieść do systemu hydroponicznego lub aeroponicznego, gdzie zaszczerpienie korzenie będą się rozmnażać.

Musimy również pamiętać, że ten typ kultury jest bardzo podatny na zanieczyszczenie przez inne niepożądane mikroorganizmy lub algi. Jest to szczególnie niebezpieczne w uprawach hydroponicznych na folii odżywczej, ponieważ ciągły przepływ pożywki może przenosić zaniec-

zyszczenia z jednej rośliny na drugą.

Problem ten można jednak częściowo rozwiązać poprzez zastosowanie obojętnych podłoży podczas wstępnej inokulacji. Z drugiej strony, szybkość rozwoju korzeni w podłożu bez tradycyjnego podłoża może powodować niską liczbę inokulacji w pierwszych okresach uprawy.

Wreszcie, technika ta wymaga odpowiednich urządzeń i precyzyjnej kontroli stosowanej pożywki, więc jej koszt w zakresie infrastruktury i wykwalifikowanego personelu jest wyższy.



3.4. Kultura in vitro

Technika rozmnażania mikoryz in vitro jest technicznie najbardziej skomplikowana. Mimo, że pierwsze próby hodowli mikoryz sięgają lat 50. ubiegłego wieku, nie udało się jeszcze uzyskać hodowli wyłącznie in vitro, ponieważ grzyby te są obligatoryjnymi biotrofami. Niemożność wzrostu mikoryz w kulturach aksenicznych, bez obecności gospodarza, dała początek rozwojowi upraw monoksenicznych wykorzystujących fragmenty korzeni jako gospodarzy. Wśród nich najczęściej stosowany jest system kultur z korzeniami marchwi (*Dacus carota* L.) transformowanymi przy użyciu *Agrobacterium rhizogenes* (znany jako system ROC)[15]. Są one przydatne do badań nad rozwojem mikoryzy, ponieważ korzenie rosną szybko i bez potrzeby stosowania regulatorów wzrostu, a ich wymagania pokarmowe są niskie. Jednak system ten ma kilka ograniczeń, takich jak brak tkanek fotosyntetycznych, równowagi hormonalnej i normalnych procesów fizjologicznych, jak również konieczność regulacji sacharozy w pożywce, dla zrekompensowania braku fotosyntetyków, co może modyfikować biochemię interakcji roślina-grzyb. System ten został z powodzeniem przetestowany na dziesiątkach gatunków AM i jest stosowany jako metoda utrzymania kolonii. Jednak bardzo niewiele gatunków roślin wystarczająco szybko, aby móc wykorzystać tę metodę do produkcji inokulum. Wśród nich możemy wyróżnić *Glomus intradices*, który jest jednym z najbardziej produkt-

ywnych i najczęściej wykorzystywanych do tej pory gatunków grzyba.

Z tego powodu, mówiąc o systemie rozmnażania mikoryzowego in vitro, ma się na myśli inokulację roślin w sterylnym podłożu agarowym z mikoryzą. Nawiązanie symbiozy mikoryzowej w tych warunkach ma jednak pewne wady, takie jak zanieczyszczenie inokulum, zachowanie gospodarza oraz obligatoryjny biotroficzny charakter symbiontu[16]. Chociaż pierwsze udane próby uprawy AM in vitro zostały osiągnięte z systemem ROC, stopniowo system ten został rozszerzony na inne gatunki, wśród których możemy znaleźć lucernę, ziemniaka czy cykorię. Idealnie do tego typu hodowli zaleca się stosowanie roślin zielnych, ponieważ ich obsługa w warunkach in vitro jest znacznie prostsza niż roślin drzewiastych.

Ogólnie rzecz biorąc, do produkcji in vitro stosuje się laboratoryjne pożywki cukrowe, takie jak pożywka minimalna lub zmodyfikowana pożywka Stullu Roman, które zawierają makro- i mikroelementy oraz witaminy. Gdy system hodowlany posiada kompletną roślinę, nie ma potrzeby dodawania do pożywki witamin i sacharozy, gdyż dostarcza ich roślina.



3.5. Zalety, wady i sektory zastosowania

Jako główną zaletę, którą można znaleźć we wszystkich systemach *in vitro*, możemy podkreślić brak możliwości skażenia przez inne mikroorganizmy, co czyni je odpowiednimi do produkcji wysokiej jakości inokulum. Pomimo tego może się zdarzyć, że podczas obsługi systemu mamy do czynienia z zanieczyszczeniami krzyżowymi, czy to przez jakiś mikroorganizm, czy przez inny AM. Mogą one wystąpić zarówno przy zakładaniu systemu, jak i w późniejszych etapach, dlatego bardzo ważne jest prowadzenie nadzoru nad hodowlą za pomocą środków wizualnych lub molekularnych.

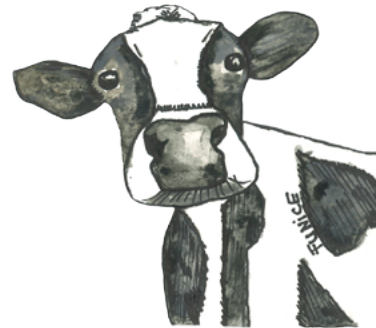
Wśród zalet, jakie możemy znaleźć dla tego typu uprawy, jest minimalna przestrzeń niezbędna do założenia systemu, a także możliwość kontrolowania dynamiki produkcji zarodników i obliczania optymalnego czasu zbioru, ponieważ parametry te można łatwiej wykryć i kontrolować w warunkach *in vitro*.

Różnorodność grzybów, które zostały wyhodowane w tym systemie jest mniejsza niż ta, która może być hodowana w systemach z podłożem. System *in vitro* ma znacznie wyższy koszt infrastruktury i personelu, ponieważ wymaga laboratoriów przygotowanych do hodowli *in vitro*, któ-

re mogą utrzymać sterylne warunki, wykwalifikowanego personelu, inkubatorów itd.

Te wady sprawiają, że ten typ systemu jest bardziej odpowiedni utrzymania czystych szczepów lub poprawy produkcji metabolitów dla przemysłu farmaceutycznego.





1. Która technika hodowli mikoryzy jest najbardziej odpowiednia?

- Produkcja na bazie substratów i produkcja in-vitro.
- Produkcja bez substratów i produkcja in-vitro.
- Wszystkie techniki mają wady i zalety.

2. Które techniki nazywane są również “technikami hydroponicznymi”?

- Bez substratów
- Z podłożem
- In vitro

3. Co jest główną zaletą systemów in vitro?

- Gdy w systemie hodowlanym znajduje się kompletna roślina, nie jest konieczne dodawanie witamin i sacharozy do podłoża hodowlanego
- Brak możliwości zanieczyszczenia przez inne mikroorganizmy
- Wytwarzanie inokulum wolnego od cząstek gleby

4. Jakie są główne wady systemów bez substratów?

- Jest bardzo podatna na zanieczyszczenie innymi niepożądanymi mikroorganizmami lub glonami
- Jego koszt w infrastrukturze i wykwalifikowanej kadrze jest wyższy
- Obie opcje są poprawne

5. Która z metod sterylizacji w technice produkcji na podłożu jest najbardziej zalecana w przypadku dużych ilości ?

- ciepło lub para (autoklaw)
- zabiegi chemiczne
- napromieniowanie



Referencje

1. Blanco, F.A.; Salas, E.A. MICORRIZAS EN LA AGRICULTURA: CONTEXTO MUNDIAL E INVESTIGACION REALIZADA EN COSTA RICA. *Agron. Costarric.* 1997, 21, 55–67.
2. Cooper, A.J. Crop production in recirculating nutrient solution. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 1975, 3, 251–258.
3. Douds, D.D.; Nagahashi, G.; Pfeffer, P.E.; Kayser, W.M.; Reider, C. On-farm production and utilization of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. <https://doi.org/10.4141/P03-168> 2011, 85, 15–21.
4. Douds, D.D.; Nagahashi, G.; Pfeffer, P.E.; Reider, C.; Kayser, W.M. On-farm production of AM fungus inoculum in mixtures of compost and vermiculite. *Bioresour. Technol.* 2006, 97, 809–818.
5. Hawkins, H.J.; George, E. Hydroponic culture of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* with *Linum usitatissimum* L., *Sorghum bicolor* L. and *Triticum aestivum* L. *Plant Soil* 1997 1961 1997, 196, 143–149.
6. Hewitt, E.J. Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1953, 17, 301–301.
7. Hoagland; Arnon, D. The water-culture method for growing plants without soil. *Circ. Calif. Agric. Exp. Stn.* 1950, 347.
8. Ijdo, M.; Cranenbrouck, S.; Declerck, S. Methods for large-scale production of AM fungi: Past, present, and future. *Mycorrhiza* 2011, 21, 1–16.
9. Kapoor, R.; Sharma, D.; Bhatnagar, A.K. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 2008, 116, 227–239.
10. Lee, Y.J.; George, E. Development of a Nutrient Film Technique Culture System for Arbuscular Mycorrhizal Plants. *HortScience* 2005, 40, 378–380.
11. Millner, P.D.; Kitt, D.G. The Beltsville method for soilless production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 1992 21 1992, 2, 9–15.
12. Osorio, C.E.U.; Sánchez, D.A.C.; Molano, A.E.F. Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (H.M.A) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa AAA cv. Gran Enano*) (Musaceae). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 2008, 61, 4279–4290.
13. Pawlowska, T.E.; Douds, D.D.; Charvat, I. In vitro propagation and life cycle of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum*. *Mycol. Res.* 1999, 103, 1549–1556.
14. Rosikiewicz, P.; Bonvin, J.; Sanders, I.R. Cost-efficient production of in vitro *Rhizophagus irregularis*. *Mycorrhiza* 2017, 27, 477–486.
15. Smith, S.; Read, D. *Mycorrhizal Symbiosis*. *Mycorrhizal Symbiosis* 2008.
16. Vierheilig, H.; Schweiger, P.; Brundrett, M. An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots†. *Physiol. Plant.* 2005, 125, 393–404.





MODUŁ 4
Jak prawidłowo wykorzystać mikoryzę w
produkcji roślinnej



4.1. Procedura agronomiczna

4.1.1. Aspekty praktyczne

Ogromną zaletą mikoryzy jest możliwość stosowania jej do uprawy i hodowli wielu gatunków roślin. Mikoryza może być użyta zarówno w produkcji nakierowanej na korzyści ekonomiczne jak i w hobbistycznej uprawie warzyw i owoców, drzew i krzewów ogrodowych, czy też ozdobnych kwiatów doniczkowych. Szczepionki można

zastosować dla roślin rabatowych, gatunków iglastych i liściastych, roślin wrzosowatych (wrzosów, wrzośców, hortensji, różaneczników), a nawet dla trawnika. Szczepić można zarówno młode egzemplarze, jak i dojrzałe rośliny.

Do najpopularniejszych szczepionek należą mikoryzowe preparaty przeznaczone są pod uprawę iglaków, storczyków, róż oraz roślin rabatowych i wrzosowatych. Istnieje kilka możliwych sposobów aplikacji mikoryzy:

- zaprawa nasion
- zaprawa korzeni sadzonek
- aplikacja bezpośrednia do gleby

Szczepionka z mikoryzy to jeden z najskuteczniejszych środków wspierania naturalnego odżywienia roślin. Istotne jest aby zastosować odpowiednio dobraną do danego gatunku szczepionkę, która nie tylko znacznie wzmocni korzenie, ale i podniesie odporność na choroby oraz trudne warunki atmosferyczne. Zastosowanie odpowiedniej szczepionki jest to niezwykle istotne, ponieważ dany preparat zawiera jedynie gatunki grzybów, które wchodzi w symbiozę z określonymi roślinami. Innymi słowy, użycie niewłaściwej szczepionki sprawi, że mikoryza nie zajdzie. Preparaty najczęściej zawierają zarodniki lub strzępki grzybni pobrane z roślin, na których wystąpiło zjawisko mikoryzy. Dodatkową zaletą mikoryzy jest ograniczenie rozrostu chwastów, co ułatwi pielęgnację działki stanie się lżejszym i łatwiejszym zadaniem.



Dostępne na rynku preparaty mikoryzowe występują w różnych formach:

- żel
- zawiesina
- postać sypka
- granulata

Podczas procesu aplikacji warto zwrócić uwagę na odpowiednie warunki sprzyjające rozwojowi grzybni. Szczepionkę najlepiej zaaplikować do wilgotnego podłoża - ok 60 ppw (polowej pojemności wodnej), podczas ciepłej pogody (temperatura powietrza powinna wynosić ok. 15-20°C). Najlepiej wykonać zabieg wiosną, ewentualnie jesienią - marzec/kwiecień lub wrzesień/październik. Jednak przy wyborze terminu aplikacji, jak w przypadku każdego nawożenia czy zabiegu, trzeba wziąć pod uwagę aktualnie występujące warunki pogodowe.

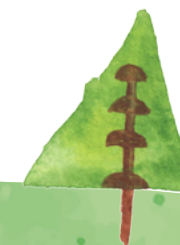


4.1.2. Aplikacja mikoryzy bezpośrednio do gleby

Mikoryzę podaje się w pewnym oddaleniu od rośliny, ale w zasięgu korzeni. W pierwszej kolejności warto zrobić otwór w ziemi, np. wbijając drewniany kołek na głębokość około 10cm. Inną możliwością jest wykopanie rowków lub wywiercenie otworów w pobliżu bryły korzeniowej. Do otworu wstrzykuje się określoną ilość preparatu. Jeżeli korzystamy z szczepionki zakupionej odpowiednia ilość roztworu dla danego gatunku rośliny jest ustalona przez producenta i zapisana w instrukcji dołączonej do opakowania. Po przeprowadzeniu aplikacji otwory należy zasypać.



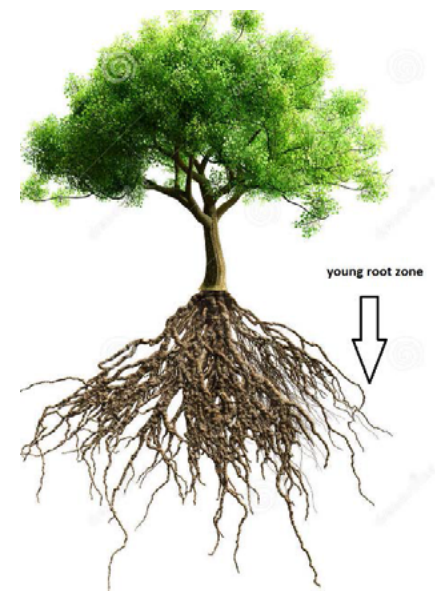
Rysunek 4.1 Szczepienie mikoryzą przy użyciu aplikatora



Aplikację wprost do korzeni - doglebowo najłatwiej wykonać przy pomocy aplikatora do mikoryzy. Jest to proste urządzenie, które stanowi duże ułatwienie podczas stosowania szczepionek mikoryzowych. Aplikator posiada czytelną podziałkę o określonej pojemności oraz rurkę ułatwiającą dozowanie do szczelin między korzeniami. Do aplikacji można użyć także zwykłego pistoletu do silikonu dostępnego w sklepach z artykułami budowlanymi.

Po aplikacji szczepionki niewskazane jest użycie nawozów mineralnych przez dwa miesiące, a po tym okresie dawki podawanych nawozów należy zmniejszyć nawet o połowę. Ostrożnie dawkowanie nawozów wynika z ryzyka przedawkowania, ponieważ grzyby mikoryzowe zamieniają azot w formę amonową, a także udostępniają roślinom 70% więcej fosforu.

Przez pierwsze 3 tygodnie po aplikacji należy unikać stosowania fungicydów układowych, gdyż mogą zaszkodzić prawidłowemu zawiązaniu mikoryzy.



Rysunek 4.2 Obszar strefy korzeniowej roślin

Drugi sposób aplikacji szczepionki w strefie młodych korzeni roślin już rosnących w gruncie to zabieg z wykorzystaniem standardowego opryskiwacza plecakowego pozbawionego filtra w ręczce z zaworem. Opryskiwacz wyposażony jest w specjalną lancę, którą wbijamy w glebę właśnie w strefę korzeniową i na optymalną głębokość, gdzie wstrzykujemy szczepionkę.





Rysunek 4.3 Aplikacja mikoryzy przy użyciu opryskiwacza plecakowego

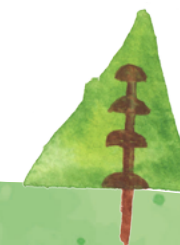
Metodą aplikacji mikoryzy jest użycie preparatu bezpośrednio na nasiona. Partię nasiona przeznaczonych do siewu należy zaprawiać przez całkowite zanurzenie nasion w przygotowanej cieczy roboczej, czas moczenia nasion w cieczy roboczej powinien wynosić, co najmniej 5 min. Inną możliwością jest użycie opryskiwacza w celu całkowitego pokrycia nasion preparatem. Zaprawione,

jeszcze wilgotne nasiona najlepiej natychmiast wysiać, wtedy preparat będzie najbardziej skuteczny. Dopuszczalne jest wysianie nasion 1-3 dni po zaprawieniu jednak skuteczność zabiegu może być w tym wypadku zmniejszona.

4.2. Stosowanie mikoryz

Jak wynika z dotychczasowych badań, korzyści płynące z mikoryz są dość duże. W produkcji rolniczej zawsze przyjmowano zasadę: silny korzeń - mocna roślina - wysoki plon. Aby skorzystać z zalet mikoryzy, należy wziąć pod uwagę kilka punktów podczas jej stosowania.

Mikoryzy można stosować do sadzenia rozsady warzyw, sadzenia nasion, sadzenia sadzonek owocowych oraz w okresie produkcyjnym. Przed sadzeniem sadzonki zanurza się w odpowiedniej dawce przygotowanej zaprawy mikoryzowej. Korzenie sadzonek trzyma się w wodzie przez kilka minut, a następnie zwilża wodą z mikoryzową. Sadzonki te są następnie sadzone w glebie. Najważniejszym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę, jest nies stosowanie fungicydu w trakcie zastosowania mikoryzy. Generalnie rolnicy stosują podczas sadzenia fungicyd przeciwko chorobom korzeni. Te fungicydy mogą spowolnić lub całkowicie zatrzymać rozwój mikoryzy.





Rysunek 4.4. Przygotowanie wody do maczania z mikoryzą i maczanie sadzonek

W ten sam sposób traktuje się sadzonki owocowe. Po zanurzeniu w wodzie mikoryzowej wysadza się je do gleby. W niektórych przypadkach choroby korzeni roślin można zaobserwować w trakcie sezonu produkcyjnego. Aby zapobiec tym chorobom, może być konieczne zastosowanie środka grzybobójczego lub dezynfekującego na obszarze korzeniowym rośliny za pomocą systemu nawadniającego. W takich przypadkach rozwój mikoryz, które stosujemy w sadzeniu może spowolnić lub zatrzymać się. Aby aktywność mikoryzowa zaczęła się od nowa, po pewnym

czasie od systemu nawadniającego należy zaaplikować do gleby odpowiednie dawki mikoryz. Nawet jeśli nie stosuje się pestycydów, takich jak fungicydy, mikoryzę należy aplikować z systemu nawadniania w regularnych odstępach czasu (raz w miesiącu) w trakcie sezonu produkcyjnego, aby zapewnić ciągłość rozwoju mikoryzy w strefie korzeniowej.



Rysunek 4.5. Zastosowanie maczania w mikoryzie w trakcie sadzenia sadzonek owocowych





Rysunek 4.6. Rozwój korzeni w nowej sadzonce traktowanej mikoryzą

Jeśli mikoryzy są stosowane razem z pożytecznymi bakteriami, takimi jak *Bacillus* spp. i *Trichoderma* spp oraz grzybami stają się bardziej korzystne.

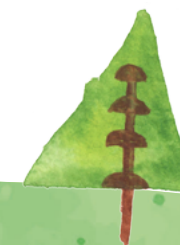
W produkcji rolniczej realizowanej z uwzględnieniem wszystkich tych czynników aktywność mikoryzy wzrasta,

a plony mogą być znacznie zwiększone. Ponadto koszty nakładów będą bardzo niskie w zakresie odżywiania roślin i ochrony roślin. Dzięki coraz częstszemu stosowaniu mikoryzy gleby zostaną wzbogacone w składniki odżywcze. W takim przypadku zużycie chemicznych nawozów i pestycydów zmniejszy się i po pewnym czasie całkowicie zniknie. W ten sposób ludzie będą mogli spożywać warzywa i owoce bez pozostałości chemicznych.

4.3. Badania związane z mikoryzami

W wyniku przeprowadzonych badań naukowcy zbadali wpływ inokulacji mikoryzy (*Glomus mossea*, *Glomus etunicatum*) i stosowania fosforu na rozwój, odżywianie i plonowanie papryki; *G. Mossea* i *G. Etunicatum* i ustalili, że zastosowanie mikoryzy było statystycznie istotne w odniesieniu do plonu papryki rodzimej odmiany Urfa w warunkach Sanliurfa.

Zgodnie z wynikami badań, w których naukowcy badali wpływ symbiotycznego życia między grzybami mikoryzowymi a korzeniami roślin na plonowanie i parametry jakościowe kukurydzy w warunkach polowych ustalono, że w przypadku braku składników pokarmowych dla roślin mikoryzy przyczynią się do wzrostu plonów i kryteriów jakościowych roślin oraz odporności na choroby.



W celu zbadania wpływu stosowania mikoryzy na rozwój i plonowanie truskawek inni badacze określili wczesne wartości plonu składające się z liczby liści i roślin siostrzanych, masy świeżej i suchej łodygi korzeniowej, wielkości owoców, średniego plonu z rośliny oraz wielkość plonu z pierwszych czterech zbiorów. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że stosowanie mikoryzy korzystnie wpływa na wzrost roślin, jakość owoców, a zwłaszcza na wczesny plon w warunkach bezglebowych.

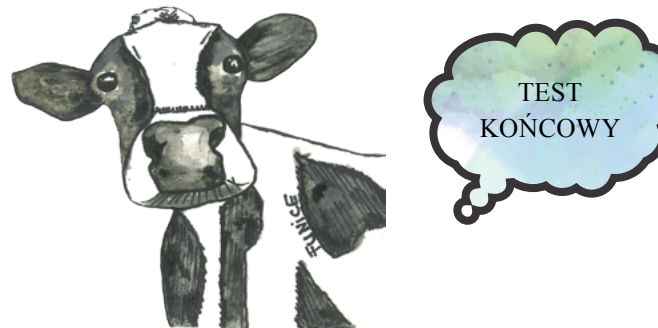
Przeprowadzono badania, których celem było określenie wpływu inokulacji mikoryzy na roślinę kukurydzy uprawianą po uprawie rzepaku w warunkach szklarniowych i polowych w rejonie Cukurova. Oceniano wpływ mikoryzy na wzrost roślin, plon, pobieranie składników pokarmowych i właściwości gleby. Wykazano, że użycie mikoryzy wywołało wzrosty badanych wartości u roślin zaszczerzonych mikoryzą w porównaniu do roślin, które nie otrzymały mikoryzy.

Przeprowadzone zostały badania wpływu gatunków grzybów mikoryzowych *Glomus coledonium*, *G. etunicatum*, *G. fasciculatus*, *G. intraradices*, *G. mosseae*, *Gigaspora margarita* na parametry wzrostu roślin bawełny oraz nasilenie choroby wywołanej przez *Verticillium dahliae* objawiającej się wędnięciem. *Etunicatum* uznano za obiecujący gatunek w kontroli biologicznej, a to dzięki zwiększeniu parametrów wzrostu roślin i zmniejszeniu nasilenia choroby.

Fosfor (P), z którym rośliny mają trudności w przyswajaniu przez korzenie, jest przenoszony z korzenia do wnętrza rośliny dzięki mikoryzie. Wytracony w postaci fosforanu trójwapniowego w bezużytecznej postaci jest przez mikoryzę w znacznym stopniu wykorzystywany. Mikoryza poprawia właściwości fizyczne gleby za pomocą strzępek i umożliwia roślinie korzystanie z wody w warunkach jej niedoboru.

Chociaż *Glomus* spp. jest najlepiej zbadanym członkiem mikoryzy, uważa się, że nie tylko dostarcza roślinie składników odżywczych, ale także chroni roślinę przed chorobami.





1. Mikoryzę można stosować:

- a) Tylko jako metoda zaprawiania nasion
- b) Tylko w przypadku młodych roślin
- c) Zarówno w przypadku nasion, jak i roślin

2. Warunki stosowania szczepionki mikoryzowej:

- a) Wilgotne podłoże, temperatura powietrza poniżej 10 °C
- b) Podłoże wilgotne, temperatura powietrza ok. 15-20°C
- c) Suche podłoże, temperatura powietrza powyżej 20 °C

3. Nasiona zaprawiane mikoryzą najlepiej wysiewać:

- a) bezpośrednio po zaprawieniu
- b) 6-8 godzin po zaprawieniu
- c) 1-3 dni po zaprawieniu

4. Mikoryza może być używana do:

- a) tylko korzyści ekonomiczne
- b) więcej niż jeden cel
- c) uprawa róż

5. Mikoryzę można zastosować do:

- a) zaprawiania nasion, zaprawiania korzeni sadzonek, aplikowania bezpośrednio do gleby.
- b) tylko zaprawiania nasion
- c) tylko aplikowania bezpośrednio do gleby.



Referencje

1. Akpınar, Ç., 2011. Kanola Sonrası Yetiştirilen II. Ürün Mısır Bitkisine Mikoriza Aşılmasının Verim ve Besin Elementleri Alımına Etkisi. Çukurova Üniv. Fen Bil. Ens. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Adana
2. Aleksandrowicz-Trzcińska M. 2004. Wpływ fungicydów na mikoryzy sadzonek drzew leśnych. Katedra Ochrony Lasu i Ekologii SGGW, Warszawa.
3. Almaca, A., Almaca, N.D., Söylemez, S., Ortaş, İ., 2010. The effects of mycorrhizal species and different doses of phosphorus on pepper (*Capsicum annuum* L.) yield and development under field conditions. Food, Agriculture and Environment (JFAE). Vol. 11, Issue 3&4, Pages 647-651.
4. Anonymous, 2022. <https://poradnikogrodniczy.pl/mikoryza.php>
5. Anonymous, 2022. <https://zielonyogrodek.pl/pielęgnacja/nawozenie/3370-mikoryza-i-jej-zastosowanie-w-ogrodzie>
6. Borkowska B. 2004. Dlaczego mikoryza. Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, Skierniewice.
7. Çetinkaya, N., Dur., S., 2010. Mısır Vejetatif Gelişimi ve Verimi Üzerinde Bir Endomikorizal Preparatın Etkileri. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg. 47 (1): 53-59. Nedim, Sami Dur.
8. Ertan, E., Kılınç, S., Yıldız, A., Şirin, U., 2007. Topraksız Ortamda Çilek Yetiştiriciliğinde Mikoriza Uygulamasının Bitki Gelişimine ve Verime Etkileri. Türkiye V. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi (04-07 Eylül 2007). Erzurum
9. Keklikçi, Z., 2014. Bitkisel Üretim. %. Ulusal Çevre ve Ekoloji Öğrenci Kongresi 1-2 Mart 2014, Odtü KKM B Salonu. Ankara.
10. Kubiak J. 2004. Sposoby aplikacji szczepionek mikoryzowanych. Seminarium nt. Dlaczego mikoryza jest szansą sukcesu dla roślin ogrodnictwa i leśnych. SGGW, Warszawa.
11. Küçük, Ç., Güler, İ. 2009. Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bazı Biyokontrol Mikroorganizmalar Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR (Eski adı: OrLab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi), Cilt: 07 Sayı: 1 Sayfa: 30-42.
12. Orlikowski L. 2004. Mikoryzowanie roślin a rozwój fytoftorazy. Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, Skierniewice.
13. Özgönen, H., 2011. Arbüsküler Mikorizal Fungusların Pamukta Bitki Gelişimine ve *Verticillium Solgunluğu* (*Verticillium dahliae* kleb.) Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15-3 (2011), 171-177.
14. Sandal Erzurumlu, G., Erman Kara, E., 2014. Mikoriza Konusunda Türkiye’de Yapılan Çalışmalar, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 7 (2): 55-65, 2014





MODUŁ 5
Studia przypadków związane z mikoryzą



5.1. Studium Przypadku 1

Jak wykazały badania zastosowanie mikoryzy w uprawie kontenerowej sosny w latach 2002-2003, uzyskano wyższe przyrosty wysokości roślin o 25,5— 27,9% w porównaniu do roślin nietraktowanych szczepionkami mikoryzowymi. Rośliny mikoryzowane posiadały dłuższe igły i większą liczbę pąków szczytowych. Takie różnice we wzroście między zastosowaniem mikoryzacji a jej brakiem wskazują, że mikoryzacja zasługuje na większą niż dotąd uwagę. W doświadczeniach wegetacyjnych udowodniono, że pożądany wzrost roślin mikoryzowanych można otrzymać obniżając zalecane dawki nawozu nawet o 50%.



Rys. 5.1. Efekty wzrostowe sosny przy braku mikoryzy (rys. po lewej) i z zastosowaniem mikoryzy (rys. po prawej)



Kolejne badania wpływu mikoryzy na rozwój roślin przeprowadzono na wierzbie energetycznej. Dane porównawcze przedstawia tabela 5.2.

Tab. 5.1. Przyrost masy roślin w pierwszym roku po mikoryzacji

Masa roślin bez mikoryzy (kg)	Udział (%)	Masa roślin z mikoryzą (kg)	Udział (%)
6,74	100	8,07	120

Mikoryzację wykonuje się raz na całe życie rośliny, a im zabieg zostanie wykonany wcześniej tym efekt mikoryzy będzie większy, a koszty mikoryzacji mniejsze.

Dla uzyskania wysokich plonów truskawek niezbędny jest dobrej jakości materiał nasadzeniowy. Zainteresowaniem producentów cieszą się sadzonki doniczkowane lub ukorzeniane w multiplatach. Sadzonki tradycyjne odcinane są od rośliny macierzystej przed utworzeniem korzeni i ukorzeniane w podłożu bezglebowym. Gwarantuje to wysoką zdrowotność i dobre wytworzenie systemu korzeniowego, nie ma jednak możliwości zasiedlenia systemu korzeniowego przez grzyby mikoryzowe.

Wielkość systemu korzeniowego, a także budowa części nadziemnej rośliny, decydują o jakości materiału nasadzeniowego i następnie o wzroście roślin. W doświadczeniach

stwierdzono, że wzrost roślin zasiedlonych grzybami mikoryzowymi jest znacznie silniejszy niż roślin niezasiedlonych (Rys. 5.2).



Rys. 5.2. Wzrost sadzonek odmiany ‘Senga Sengana’ bez mikoryzy (z lewej) i po inokulacji (po prawej)

W uprawie pod osłonami może wystąpić niedobór światła. Zmniejsza się wtedy fotosynteza netto, a rośliny słabiej rosną. Mikoryza w warunkach niedoboru światła pomaga roślinie lepiej wykorzystywać światło i przez to zmniejszać ujemne efekty niedoboru światła (Tab. 5.2).



Tab. 5.2. Wzrost części nadziemnej i korzeni sadzonek odmiany ‘Elsanta’ w obecności mikoryzy i bez inokulacji, w warunkach słabego oświetlenia

Traktowanie	Liście		Korzenie	
	Świeża masa (g)	Sucha masa (g)	Świeża masa (g)	Sucha masa (g)
kontrola	1,061	0,241	1,964	0,306
mikoryzowanin e	1,178	0,306	2,430	0,393

Mikoryza poprawia odporność roślin na suszę. W warunkach polowych zwiększając system korzeniowy i jego zasięg ułatwia dostęp do wody. Same grzyby mikoryzowe mogą być rezerwuarem wody, udostępniając ją roślinom w warunkach suszy (Rys. 5.3.).



Rys. 5.3. Mikoryza zwiększa odporność roślin na suszę; w doświadczeniu szklarniowym rośliny nie były podlewane przez 5 dni (z lewej — mikoryzowane)

5.2. Studium Przypadku 2

Pozytywne działanie mikoryzy wykorzystywane jest przy uprawie wielu gatunków roślin i potwierdzone badaniami. W przypadku borówki amerykańskiej, po 4 tygodniach jej uprawy stwierdzono istotny wpływ mikoryzy na wzrost roślin. Były one istotnie wyższe aniżeli rośliny w kontroli (Tab. 5.3.). Tendencja szybszego wzrostu borówki w podłożu z dodatkiem mikoryzy utrzymywała się przez następne 5 tygodni. Analiza liczba liści po 9 tygodniach wykazała najwięcej liści na borówce rosnącej w podłożu z dodatkiem mikoryz.

Tab. 5.3. Wpływ na rozwój borówki amerykańskiej; obserwacje po 4 i 9 tygodniach uprawy

	Wysokość roślin mm		Średnia liczba liści	
	4 tygodnie	9 tygodni	4 tygodnie	9 tygodni
Kontrola	54,5	101,2	10,3	16,9
Mikoryza	58,7	101,8	8,8	18,6

Gatunki roślin drzewiastych o wyraźnej mikotroficzności rozwijają się źle lub nawet giną w pierwszych latach rozwoju w warunkach nieobecności grzyba. Przegląd systemu korzeniowego tych drzew wskazuje na silną redukcję i brak rozgałęzień. Trudno zaprzeczyć dodatniej roli mikoryzy roślin drzewiastych.





Rys. 5.4. Efekty wzrostowe dębu przy braku mikoryzy (rys. po lewej) i z zastosowaniem mikoryzy (rys. po prawej)

Table 5.4. Wpływ mikoryzy na rozwój siewek

Obserwacje	Siewki	
	Z mikoryzą	Bez mikoryzy
Długość nadziemnej części rośliny (cm)	35,5	17,5
Przyrost w drugim roku (cm)	18	3
Długość pędów drugiego stopnia	10	0,3
Waga części nadziemnych (g)	17	3,1
Waga części korzeniowych (g)	11	4,5
Liczba liści (g)	42	12
Ogólna powierzchnia liści (cm)	591	98

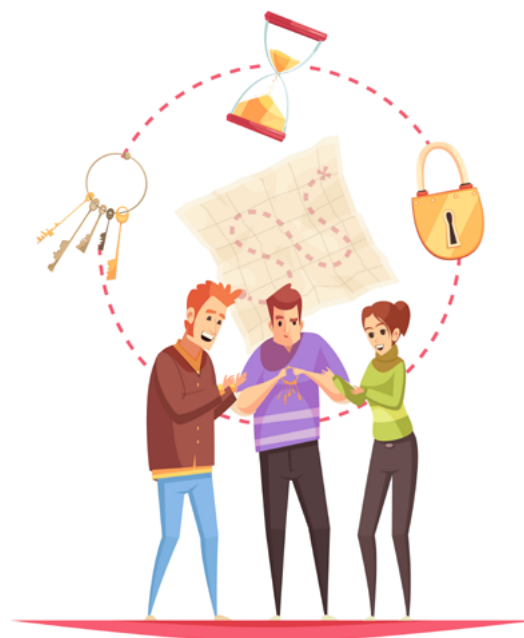
Wyniki doświadczenia wpływu szczepionki mikoryzowej na wzrost winorośli Danmarpa Polonia potwierdzają korzystne jej oddziaływanie na badane cechy. Średnia liczba pędów na roślinie była wyraźnie większa w kombinacji z zastosowaniem grzybów mikoryzowych. Rośliny zaszczipione grzybami wytworzyły średnio dwa pędy, natomiast w kontroli uzyskano zaledwie 1,4 pędu na roślinę. Dodatkowo długość międzywęzła okazała się większa u roślin poddanych mikoryzie. Zwiększenie odległości pomiędzy liśćmi wpływa na lepszą cyrkulację powietrza, obniżenie wilgotności wokół liści i gron, a tym samym zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w przypadku zagrożenia porażeniem przez choroby grzybowe. Łączna liczba pędów na roślinach kontrolnych była mniejsza o 34% niż tych uprawianych z zastosowaniem mikoryzy. Wskazuje to na lepsze wykorzystanie wody i składników pokarmowych. Zastosowanie szczepionek mikoryzowych w przypadku tej odmiany winorośli pozwala uzyskać poprawę wzrostu wegetatywnego o 1/3 w pierwszym roku uprawy.



Referencje

1. Borkowska B. , Sowik I., Szkołkarstwo 2005 (4)
Mikoryza w produkcji sadzonek truskawek.
2. Kolasiński M., IV Konferencja Winiarska. Nowości w uprawie winorośli i produkcji win. Prace Instytutu Zarządzania i Inżynierii Rolnej Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Sulechowie. Kalsk 22-23 stycznia.
3. Kubiak J., Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 2006.
4. Kubiak J.,2007, Mikoryza wierzby energetycznej – badania wstępne.
5. Kubiak J.,2007, Wpływ różnych szczepionek mikoryzowych na wzrost sosny i liczbę pączków.
6. Miszustin E., Mikoryza roślin drzewiastych a stepowa hodowla lasu
7. Orlikowski L., Wpływ szczepionek mikoryzowych na rozwój i zdrowotność borówki amerykańskiej, różaneczników i wrzosów, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, Prac. Fitopatologii Roślin Ozdobnych





Klucz Odpowiedzi

M0	M1	M2	M3	M4
1-C	1-B	1-A	1-C	1-C
2-C	2-C	2-C	2-A	2-B
3-A	3-C	3-B	3-B	3-A
4-A	4-B	4-A	4-C	4-B
5-B	5-C	5-C	5-B	5-A



Handwriting practice area consisting of 20 horizontal dotted lines.



Handwriting practice area consisting of 20 horizontal dotted lines.





FUNICE

**SPECJALISTYCZNY PODRĘCZNIK
WYKORZYSTANIA MIKORYZY**

Rolnicze wykorzystanie dobroczynnych mikroorganizmów w
Aspekt Ochrony Środowiska Projekt (FUNICE)
2020-1-FR01-KA202-079874

www.funice.eu

