

MONIKA MAŁECKA, DOROTA HILSZCZAŃSKA

Wpływ wzbogacenia gleby porolnej substratami organicznymi na strukturę zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych sosny zwyczajnej*

Changes in ectomycorrhizal structure of Scots pine growing on abandoned farmland soil enriched with organic substrates

ABSTRACT

Małecka M., Hilszczańska D. 2014. Wpływ wzbogacenia gleby porolnej substratami organicznymi na strukturę zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych sosny zwyczajnej. Sylwan 158 (4): 243-250.

An assessment of ectomycorrhizal fungi associated with *Pinus sylvestris* L. growing on abandoned post-agricultural soil was performed. The seedlings were growing at three different treatments of soil amendments (harvest residue, bark compost and sawdust). As a control treatment, the soil without any amendments was used. The comparison of ectomycorrhizal structure done ten years after the application of organic substrates showed no significant changes in species richness level. The most frequent taxa, irrespective of the treatment, was *Wilcoxina* sp. The result seems to be connected with high nitrogen level in the soil. Ectomycorrhizae of *Cortinari* sp. and *Pinirhiza* spp. dominated in all treatments. The results showed that species richness and abundance of live and dead mycorrhizae depend on soil conditions, which are similar on treatment and control plots.

KEY WORDS

Scots pine, ectomycorrhizal fungi, post-agricultural lands, organic substrates

ADDRESSES

Monika Małecka ⁽¹⁾ – e-mail: M.Malecka@ibles.waw.pl

Dorota Hilszczańska ⁽²⁾ – e-mail: D.Hilszczanska@ibles.waw.pl

⁽¹⁾ Zakład Ochrony Lasu; Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary; ul. Braci Leśnej 3; 05-090 Raszyn

⁽²⁾ Zakład Ekologii Lasu; Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary; ul. Braci Leśnej 3; 05-090 Raszyn

Wstęp

Formalną podstawą prac zalesieniowych w Polsce jest Krajowy Program Zwiększania Lesistości (KPZL), przyjęty przez Radę Ministrów 23 czerwca 1995 roku, przewidujący wzrost lesistości do 30% w 2020 roku. Zakłada on przeznaczenie pod uprawy leśne powierzchni ponad 600 tys. ha tzw. gruntów porolnych, czyli gleb najłabszej jakości, oraz gleb odłogujących, dawniej uprawianych rolniczo [Zaleski 2003]. Obecny stan zalesień z lat powojennych wskazuje, że drzewostany te charakteryzuje zarówno jednolita struktura gatunkowa (przede wszystkim sosna i brzoza), jak i wiekowa oraz przestrzenna – są to zwykle duże kompleksy leśne w tej samej klasie wieku [Rykowski 1990]. Gleby użytkowane rolniczo różnią się zasadniczo pod względem cech chemicznych, fizycznych i biologicznych od gleb leśnych – w szczególności brak w nich wielu substancji organicznych, m.in. tkanek zawierających ligninę i hemicelulozy. Związki te, wchodzące w skład struktury drewna, także korzeni, stanowią podstawowe podłoże i źródło energii dla rozwoju

* Praca wykonana w ramach tematu badawczego 240304 zrealizowanego ze środków MNiSzW.

mikroorganizmów, a wśród nich grzybów, przede wszystkim podstawczaków, rozkładających kompleks celulozowo-ligninowy. Uczestnicząc w procesach tworzenia specyficznej struktury gleby leśnej, wraz z bakteriami i innymi mikroorganizmami, nadają jej specyficzną aktywność biologiczną [Trojanowski, Heider 1975; Richards 1979; Tracz 1993].

Konsekwencją tych specyficznych dla drzewostanów na gruntach porolnych uwarunkowań o charakterze predyspozycyjnym jest duża podatność drzewostanów na oddziaływanie biotycznych czynników stresowych [Małecka, Sierota 2003]. Badania mykologiczne gleb uprawnych wykazały, że brakuje w nich przede wszystkim grzybów charakteryzujących się zdolnościami antagonistycznymi względem patogenów powodujących choroby korzeni drzew [Sierota, Kwaśna 1999]. Kluczowe znaczenie dla kondycji przyszłych drzewostanów ma również struktura i udział symbiontów mykoryzowych w glebach porolnych w okresie pierwszych lat po wprowadzeniu sadzonek na stałe miejsce w uprawie [Hilszczańska, Sierota 2006].

Dużą wagę przykłada się do stwarzania w okresie juvenilnym życia drzew leśnych warunków stymulujących zawiązywanie się symbiozy mykoryzowej [Hilszczańska 2000; Klimek i in. 2008]. Proces przekształcania się zbiorowiska grzybów mykoryzowych, już istniejącego w glebie porolnej, w kierunku składu typowego dla środowiska leśnego (grzybów ektomykoryzowych ECM) nie został, jak dotąd, ściśle określony czasowo. Z badań Boerner i in. [1996] wynika, że zbiorowisko ECM, typowe dla dorosłego drzewostanu, na glebach porolnych może powstać nie wcześniej niż po 25-30 latach od chwili zaprzestania upraw rolniczych. Również zjawisko sukcesji zbiorowiska ECM u drzew gatunków iglastych wysadzanych na grunty porolne czy pozostawionych do odnowienia naturalnego jest słabo rozpoznane. Dotychczasowe badania w tym zakresie dotyczyły przede wszystkim wpływu sposobu przygotowania gleby [Aleksandrowicz-Trzczińska 2005] oraz nawożenia azotowego [Hilszczańska i in. 2008] na zmiany w strukturze mykoryz, jak również inokulacji sadzonek sosny i świerka wybranymi gatunkami grzybów ECM [Hilszczańska 2005; Menkis i in. 2005; Sierota, Hilszczańska 2009].

Zagadnienie rewitalizacji gleb na gruntach porolnych poruszano w wielu pracach [Sobczak 1990; Gorzelak 1998; Sierota, Kwaśna 1999; Oszako, Olejarski 2003; Olejarski 2005]. Przeważał w nich pogląd, że wzbogacanie zalesianych gruntów substratami organicznymi w postaci kompostów, trocin czy pozostałości zrębowych z jednej strony poprawia żyzność słabych gleb, z drugiej zaś stymuluje korzystne procesy mikrobiologiczne w środowisku glebowym, zwiększa udział antagonistów, a zarazem podnosi odporność korzeni na porażenie w młodym ekosystemie leśnym [Kwaśna i in. 2000, 2001].

Material i metody

Powierzchnia obiektu badawczego założonego w Nadleśnictwie Bielsk, leśnictwie Strabla (RDLP w Białymstoku) wynosiła 0,30 ha i została objęta zabiegami rewitalizacji gleb, które wykonano w 2001 roku po jesiennym przygotowaniu gleby na poletkach doświadczalnych, każde o powierzchni 2 arów (10×20 m). Zabiegi te polegały na rozsypaniu w rzędy przygotowane do wysadzenia sosny: a) pozostałości zrębowych (Pz), b) kompostu korowego (Kk) oraz c) trocin (T), w każdym wariantcie w ilości 1,5 mp/ar oraz d) dodaniu podsypki kompostowej pod korzenie sadzonek w momencie sadzenia w ilości około 200 ml (Pk). Osobny wariant stanowiła powierzchnia kontrolna (K) bez dodatku substratu organicznego. Każdy wariant doświadczenia wykonano w 3 powtórzeniach. Wiosną 2002 roku wysadzono sadzonki sosny zwyczajnej pochodzące z miejscowej szkółki w typowej więźbie stosowanej przy zalesianiu gruntów porolnych (1,5×0,7-0,5 m).

W 2012 roku, po upływie 10 lat od założenia doświadczenia, wykonano analizę chemiczną gleby oraz ocenę ilościową i jakościową zbiorowisk grzybów mykoryzowych na korzeniach drzew rosnących w poszczególnych wariantach doświadczenia.

Próby gleby wraz z korzeniami mykoryzowymi pobierano świdrem glebowym o średnicy 7 cm z głębokości 20 cm w 3 punktach każdego wariantu doświadczenia, w sąsiedztwie drzewa. W celu oznaczenia składu chemicznego próbki gleby pobrano z głębokości do 20 cm. Badania wykonano zgodnie z metodyką przyjętą w międzynarodowym programie monitoringu lasów ICP Forests. Odczyn gleb (pH w H₂O i w KCl) oznaczano metodą potencjometryczną według PN-ISO 103390:1997, zawartość węgla organicznego – metodą analizy elementarnej według PN-ISO 10694:2002, zawartość azotu ogólnego – metodą analizy elementarnej według PN-13878:2002, zawartość potasu, wapnia, magnezu w wyciągu octanu amonu według procedury PB-05 ed.2, zaś fosfor łatwo rozpuszczalny (P₂O₅) metodą Egnera-Riehma. Analizy wykonała Samodzielna Pracownia Chemii Środowiska Leśnego IBL.

Odsiane z próbek gleby korzenie myto w laboratorium pod bieżącą wodą na sitach, a następnie umieszczano w pojemnikach z wodą destylowaną w chłodni, do czasu rozpoczęcia analiz. Obserwacje mykoryz wykonano pod mikroskopem stereoskopowym przy powiększeniu 10-50 razy, identyfikując je na podstawie takich cech, jak obecność i wygląd mufki grzybniowej (kształt, kolor i struktura), grzybni ekstramatrykalnej oraz sznurów grzybniowych. Dla każdego wariantu doświadczenia obliczono łączną liczbę występujących mykoryz oraz dokonano identyfikacji danego morfotypu do gatunku lub rodzaju [Agerer, Rambold 2004-2007]. Na tej podstawie przeprowadzono analizę ilościową (średnia liczebność mykoryz, względna obfitość mykoryz [%]) oraz porównawczą ocenę bogactwa gatunkowego.

Do oceny zróżnicowania liczebności zbiorowisk grzybów mykoryzowych w wariantach doświadczalnych zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA (program StatgraphicsTM Centurion). Istotność różnic pomiędzy średnimi oceniano testem RIR Tukeya. Do weryfikacji istotności różnic przyjęto 95% przedział ufności ($p < 0,05$). Strukturę jakościową zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych zbadano przy zastosowaniu analizy korespondencji (pakiet Statistica, StatSoft, Inc.).

Wyniki

Odczyn w zawieszynie wodnej gleby w poszczególnych wariantach doświadczenia kształtował się na poziomie powyżej 4,0, najwyższy (pH 4,7-4,72) stwierdzono w glebie z dodatkiem trzech komponentów organicznych: trocin, kompostu korowego i podsypki kompostowej (tab. 1). Odczyn w roztworze KCl, wskazujący na stopień przyswajalności niektórych pierwiastków przez korze-

Tabela 1.

Wartości parametrów chemicznych gleby w wariantach zabiegowych
Soil parameters for the treatments (*status of soil before treatment)

Parametry chemiczne gleby	Stan wyjściowy (2001) (profil glebowy 0-24 cm)*	Rodzaj zastosowanego substratu organicznego				Kontrola (K)
		Kompost korowy (Kk)	Podsypka kompostowa (Pk)	Pozostałości zrębowe (Pz)	Trociny (T)	
pH w H ₂ O	4,40	4,70	4,72	4,51	4,71	4,59
pH w KCl	4,01	3,94	4,03	3,96	3,95	4,00
C [%]	0,526	0,55	0,36	0,42	0,47	0,45
N [%]	0,039	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05
C/N	13,5	9,88	8,93	9,11	9,59	9,44
P ₂ O ₅ (mg/100g)	14,5	20,70	17,20	19,50	19,30	20,00
K [mg/100g]	1,0	1,21	1,10	1,00	1,17	1,13
Ca [mg/100g]	2,0	1,32	0,43	0,51	0,80	0,83
Mg [mg/100g]	0,1	0,14	0,11	0,10	0,11	0,12

* za/after Możliwości... [2003]

nie, kształtował się we wszystkich wariantach na podobnym, dość niskim poziomie (pH 4,0). Zawartość węgla organicznego zawierała się w przedziale 0,36-0,55%, najniższą stwierdzono w glebie z dodatkiem podsypki kompostowej, najwyższą zaś z kompostem korowym.

Średnia zawartość azotu ogólnego w badanych glebach była generalnie niska, nie przekraczała wartości 0,06, która charakteryzowała glebę wzbogaconą kompostem korowym. Pod względem zawartości pozostałych parametrów chemicznych gleby z ocenianych wariantów doświadczenia nie różniły się znacząco od siebie, z wyjątkiem wapnia, którego zawartość w glebie z poletka traktowanego kompostem korowym była zdecydowanie wyższa niż na pozostałych.

Porównanie parametrów chemicznych gleb uzyskanych w 2012 roku z danymi otrzymanymi przed założeniem powierzchni doświadczalnej wykazało w niektórych przypadkach pewne zmiany. Nastąpił nieznaczny wzrost wartości odczynu gleby (pH w H₂O), największy w glebie wzbogaconej w podsypkę kompostową. Udział procentowy węgla w glebie utrzymał się na podobnym poziomie, natomiast zawartość azotu wzrosła, co w konsekwencji przełożyło się na mniejsze wartości stosunku węgla do azotu (C/N). Zawartość wapnia zmalała we wszystkich wariantach zabiegowych, w największym stopniu w glebie z dodatkiem podsypki kompostowej i pozostałości zrębowych. W przypadku fosforu (P₂O₅) stwierdzono wzrost jego zawartości, największy na powierzchni kontrolnej i z dodatkiem kompostu korowego. Poziom magnezu w glebie po upływie 10 lat nie uległ znaczącym zmianom.

W analizie ilościowej mykoryz wyróżniono ogółem 10 morfotypów, w przypadku 4 określono gatunek, a dla 3 morfotypów rodzaj tworzących je partnerów grzybowych (tab. 2). Udział mykoryz martwych kształtował się we wszystkich wariantach zabiegowych na zbliżonym poziomie 25-35%, udział zaś mykoryz żywych w zakresie 55-70%. Pozostałą część ocenianych korzeni stanowiły korzenie włośnikowe, nieumykoryzowane. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic pomiędzy wariantami pod względem tych parametrów (ryc. 1).

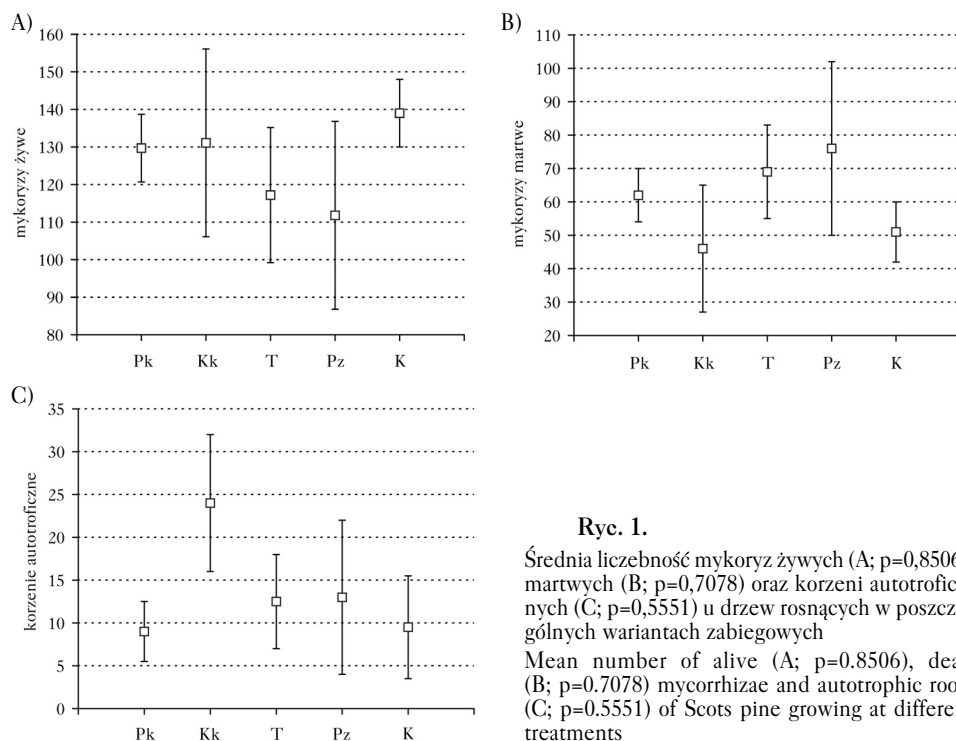
Różnorodność grzybów ektomykoryzowych występujących na korzeniach sosny była w badanych wariantach bardzo zbliżona. Niemal we wszystkich wariantach (z wyjątkiem wariantu Pz,

Tabela 2.

Bogactwo gatunkowe oraz względna obfitość [%] grzybów kolonizujących korzenie sosen rosnących w poszczególnych wariantach zabiegowych

Species richness and relative abundance [%] of mycorrhizal fungal taxa associated with Scots pine roots growing at different treatments

Gatunek lub rodzaj grzyba mykoryzowego	Rodzaj zastosowanego substratu organicznego				Kontrola (K)
	Trociny (T)	Pozostałości zrębowe (Pz)	Kompost korowy (Kk)	Podsypka kompostowa (Pk)	
<i>Cortinarius</i> sp.	10,2	31,7	11,5	31,6	6,9
<i>Dermocybe palustris</i>	7,8	2,4	5,2	3,8	8,2
<i>Paxillus involutus</i>	5,1	1,8	1,1	6,7	14,9
<i>Pinirhiza angularis</i>	24,6	6,1	11,7	13,4	8,1
<i>Pinirhiza geoproides</i>	11,5	4,4	10,6	3,3	7,7
<i>Suillus</i> sp.	2,5	0,0	6,1	0,1	1,0
<i>Wilcoxina</i> sp.	32,8	41,2	45,3	30,9	30,3
Niezidentyfikowany (NN1) – biały, włochaty	1,6	3,2	0,1	3,5	0,0
Niezidentyfikowany (NN2) – brązowy, gładki	3,8	9,2	10,2	6,8	21,5
Niezidentyfikowany (NN3) – jasny, z czarną mufką	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3



Ryc. 1.

Średnia liczebność mykoryz żywych (A; $p=0,8506$), martwych (B; $p=0,7078$) oraz korzeni autotroficznych (C; $p=0,5551$) u drzew rosnących w poszczególnych wariantach zabiegowych

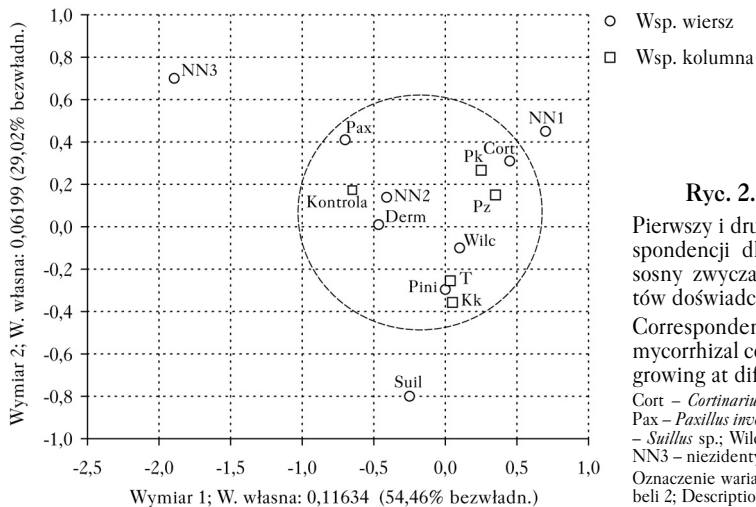
Mean number of alive (A; $p=0.8506$), dead (B; $p=0.7078$) mycorrhizae and autotrophic roots (C; $p=0.5551$) of Scots pine growing at different treatments

gdzie stwierdzono 8 morfotypów) występowało 9 morfotypów na 10 oznaczonych. Grzyb niezidentyfikowany, określony jako „jasny z czarną mufką”, występował jedynie na korzeniach sosny rosnącej na powierzchni kontrolnej. Najwyższą względną obfitość mykoryz na korzeniach (bez względu na wariant doświadczenia) stwierdzono dla ECM tworzonych przez *Wilcoxina* sp. Dość wysoką obfitością w korzeniach charakteryzowały się również mykoryzy *Cortinarius* sp. oraz *Pinirhiza angularis*. Najmniejsza obfitość cechowała mykoryzy grzybów rodzaju *Suillus* sp., jak również dwa niezidentyfikowane morfotypy.

Analiza korespondencji (ryc. 2) zbiorowiska grzybów ektomykoryzowych wykazała dość wysoką jakość reprezentacji poszczególnych danych, która wyniosła około 0,8 (jakość doskonała=1). Określono, że pierwszy wymiar (oś X) wyjaśnia 54,46% zmienności, wymiar drugi zaś (oś Y) dalsze 29,02%. Większość występujących na korzeniach morfotypów skupiła się wokół miejsca przecięcia obu osi „0” oraz w bliskim sąsiedztwie symboli oznaczających warianty doświadczenia, co oznacza, że ich profile zbliżone są do profilu przeciętnego. Takie zgrupowanie morfotypów mykoryz można tłumaczyć brakiem wyraźnych różnic w zbiorowiskach grzybowych między wariantami zabiegowymi. W analizowanych próbkach korzeni najrzadziej i w najmniejszej ilości występowały dwa grzyby (skrajnie usytuowane na wykresie): *Suillus* sp. oraz niezidentyfikowany NN3 – jasny z czarną mufką.

Dyskusja

Niezależnie od zastosowanego zabiegu, po 10 latach trwania rewitalizacji gleb wynikającej z zastosowanych wariantów, bogactwo gatunkowe mykoryz kształtowało się na podobnym poziomie. Twieg i in. [2007] podają, że w drzewostanach *Pseudotsuga menziessi* najwyższy wzrost różnorodności ECM następuje między 5. a 26. rokiem wzrostu drzew. Wydaje się, że podobny schemat



Ryc. 2.

Pierwszy i drugi wymiar analizy korespondencji dla zbiorowisk mykoryz sosny zwyczajnej z różnych wariantów doświadczenia

Correspondence analysis comparing mycorrhizal community of Scots pine growing at different treatments

Cort – *Cortinarius* sp.; Derm – *Dermocybe* sp.; Pax – *Paxillus involutus*; Pini – *Pinirhiza* sp.; Suil – *Suillus* sp.; Wilc – *Wilcoxina* sp.; NN1, NN2, NN3 – niezidentyfikowane/unidentified.

Oznaczenie wariantów doświadczenia jak w tabeli 2; Description of treatments as in table 2.

może obowiązywać w przypadku *Pinus sylvestris*, stąd wskazane byłoby przeprowadzenie kolejnych badań w dłuższym przedziale czasowym. Porównując obecną strukturę mykoryz do tej sprzed 10 lat [Możliwości... 2003], można wysunąć wniosek, iż bogactwo gatunkowe grzybów mykoryzowych utrzymuje się na podobnym poziomie dziesięciu morfotypów, podczas gdy w pierwszym roku wzrostu sadzonek było ich 8. Taki stan może być związany z osiągnięciem pewnej stabilności przez zbiorowisko grzybów mykoryzowych w drzewostanie sosnowym na gruncie porolnym. Badania odnoszące się do kilkuletnich upraw sosnowych założonych na gruntach porolnych również wskazują na duże podobieństwo oraz stabilność ilościową i jakościową zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych [Hilszczańska i in. 2008; Sierota, Hilszczańska 2009].

Duży udział ektendomykoryz tworzonych przez grzyby należące do rodzaju *Wilcoxina*, które zwykle towarzyszą sosnie w wieku juvenilnym, można tłumaczyć wysoką zawartością azotu w podłożu we wszystkich wariantach zabiegowych. Wartość wskaźnika C/N przyjmowała wartości niższe niż 10 (tab. 1), co świadczy, że w glebie wciąż utrzymuje się zawartość azotu na poziomie charakterystycznym dla upraw rolniczych [Ericksson i in. 1997]. Za słusnością tej tezy przemawia fakt, że wyższy udział ektendomykoryz *Wilcoxina* sp. odnotowano w wariantach Pk i Pz (tab. 2), w których wartości C/N były najniższe (tab. 1). Wysoka zawartość azotu, która jest czynnikiem ograniczającym tworzenie się mykoryz [Rudawska i in. 2001], może mieć także wpływ na zaobserwowane wolne tempo wzrostu bogactwa gatunkowego mykoryz.

Oceniając efektywność symbiozy ektomykoryzowej dla wzrostu i odżywienia drzew, należy brać pod uwagę typ grzybni ekstatamtrykalnej (glebowej) grzybów mykoryzowych. Według Agerera [2001] to grzybnia ekstatamtrykalna (rodzaj, budowa) determinuje funkcje ekofizjologiczne ektomykoryz, które najczęściej sprowadzają się do funkcji żywieniowej. Stąd za pozytywne zmiany w strukturze mykoryz w obserwowanym okresie należy przyjąć duży udział ektomykoryz tworzonych przez *Cortinarius* sp. Niemal identyczny ich udział stwierdzono na korzeniach sosny z wariantów Pk i Pz (tab. 2). Grzybnia *Cortinarius* sp., podobnie jak i *Dermocybe* sp., reprezentuje tzw. średniodystansowy typ grzybni eksploracyjnej [Agerer 2001]. Sadzonki posiadające takie mykoryzy są zdolne pobierać z próchnicznej warstwy gleby większe ilości azotu, fosforu i potasu niż sadzonki z mykoryzami tworzącymi tzw. krótkodystansowy typ grzybni eksploracyjnej [Bendig, Read 1995]. Długodystansowy typ grzybni ekstatamtrykalnej tworzą np. grzyby należące do rodzaju *Suillus* czy *Paxillus*. Obecność tych mykoryz była stosunkowo wysoka u sadzonek

z wariantu kontrolnego, podobny zaś ich udział charakteryzował sadzonki z wariantów Pk i T (tab. 2). Uwagę zwraca niski udział mykoryz stworzonych przez *Suillus* sp. – najwyższy ich udział odnotowuje się zwykle w 4.-6. roku życia sadzonek.

Brak po 10 latach wyraźnych różnic w parametrach gleby, pomimo zastosowanych zabiegów rewitalizacyjnych, wydaje się pozostawać w ścisłym związku ze zbliżoną ilościowo strukturą mykoryz badanych sadzonek. Nie stwierdzono bowiem istotnych statystycznie różnic w liczbie mykoryz żywych w zależności od wariantu doświadczenia. Tę samą prawidłowość odnotowano dla liczby mykoryz martwych i korzeni autotroficznych. Aby zróżnicowanie w liczbie gatunków grzybów kolonizujących korzenie oraz ich obfitości były wyraźnie widoczne, gleba w badanych wariantach zabiegowych musiałaby się różnić w znacznie większym stopniu pod względem składu chemicznego, zawartości składników pokarmowych, odczynu podłoża, poziomu wilgotności i temperatury gleby – czyli parametrów mikrosiedliskowych [Last i in. 1987; Blasius, Oberwinkler 1989; Jumpponen i in. 1999; Buee i in. 2005]. Oprócz wymienionych czynników niezwykle ważne wydają się być także oddziaływania grzybów mykoryzowych z wieloma innymi organizmami, takimi jak np. grzyby saprotroficzne, roślinożercy czy glebowe bezkręgowce [Kwaśna i in. 2001]. Stąd potrzeba dalszych badań w tym zakresie, uwzględniających kolejne przedziały czasowe i zakres współdziałania innych czynników.

Literatura

- Agerer R. 2001. Exploration types of ectomycorrhizae. *Mycorrhiza* 11: 107-114.
- Agerer R., Rambold G. 2004-2007. DEEMY - An information system for characterization and determination of ectomycorrhizae, <http://www.deemy.de>, Munich, Ludwig Maximilians University.
- Aleksandrowicz-Trzczińska M. 2005. Stan mikoryz sosny zwyczajnej w uprawie założonej na gruncie porolnym. *Sylwan* 149 (2): 42-49.
- Bending G. D., Read D. J. 1995. The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. V. Foraging behaviour and translocation of nutrients from exploited organic matter. *New Phytol.* 130: 401-409.
- Blasius D., Oberwinkler F. 1989. Succession of mycorrhizae: a matter of tree age or stand age? *Ann. Sci. For.* 46, Suppl. W: Dreyer E. i in. [red.]. *Forest tree physiology*. 758-761.
- Boerner R. E. J., DeMars B., Leicht P. N. 1996. Spatial patterns of mycorrhizal infectiveness of soil along successional chronosequence. *Mycorrhiza* 6: 79-90.
- Buee M., Vairelles D., Garbaye J. 2005. Year-round monitoring of diversity and potential metabolic activity of the ectomycorrhizal community in a beech (*Fagus sylvatica*) forest subjected to two thinning regimes. *Mycorrhiza* 15: 235-245.
- Ericksson J., Andersson A., Andersson R. 1997. Tillståndet i Svensk Åkermark (Naturvårdsverket Rapport No. 4778). Naturvårdsverket Förlag, Stockholm.
- Gorzela A. 1998. Rola substancji organicznych w podnoszeniu produktywności wydym oraz słabszych gruntów porolnych. *Sylwan* 142 (8): 27-33.
- Hilszczańska D. 2000. Wpływ podłoża szkółkarskich na rozwój mikoryz sosny *Pinus sylvestris* L. *Sylwan* 144 (4): 93-96.
- Hilszczańska D. 2005. Struktura ektomikoryz u sadzonek sosny zwyczajnej inokulowanych wybranymi grzybami mikoryzowanymi, wysadzonych na gruncie porolnym i marginalnym. *Leśn. Pr. Bad.* 1: 43-52.
- Hilszczańska D., Małecka M., Sierota Z. 2008. Changes in nitrogen level and mycorrhizal structure of Scots pine seedlings inoculated with *Thelephora terrestris*. *Annals of Forest Science* 65 (409): 1-6.
- Hilszczańska D., Sierota Z. 2006. Persistence of ectomycorrhizas by *Thelephora terrestris* on outplanted Scots pine seedlings. *Acta Mycol.* 41 (2): 313-318.
- Jumpponen A., Trappe J. M., Cazares E. 1999. Ectomycorrhizal fungi in Lyman Lake Basin: a comparison between primary and secondary succession sites. *Mycologia* 91: 575-582.
- Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Hilszczańska D., Malczyk P. 2008. Impact of Chosen Bare Root Nursery Practices in Scots Pine Seedling Quality and Soil Mites (*Acar*). *Polish Journal of Environmental Studies* 17 (2): 247-255.
- Kwaśna H., Brzeski M. W., Sierota Z. 2001. Mikroorganizmy środowiska glebowego odlogujących gruntów porolnych – zmiany w zbiorowiskach grzybów i nicieni po dodaniu trocin iglastych. W: Dahm H., Pokojska A. [red.]. *Drobnoustroje środowiska glebowego – aspekty fizjologiczne, biochemiczne, genetyczne*. Wyd. A. Marszałek, Toruń. 57-66.
- Kwaśna H., Sierota Z., Bateman G. L. 2000. Fungal communities in fallow soil before and after amending with pine sawdust. *Appl. Soil Ecol.* 14: 177-182.

- Last F. D., Dighton J., Mason P. A. 1987. Successions of sheathing mycorrhizal fungi. *Trends Ecol. Evol.* 2: 157-161.
- Małecka M., Sierota Z. 2003. Ocena zagrożenia i ryzyka rozwoju huby korzeni w drzewostanie na gruncie porolnym. *Sylwan* 147 (11): 12-25.
- Menkis A., Allmer J., Vasilauskas R., Lygis V., Stenlid J., Finlay R. 2005. Afforestation of abandoned farmland with conifer seedlings inoculated with three ectomycorrhizal fungi. W: Root associated fungi of conifer seedlings and their role in afforestation of agricultural land. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Doctoral thesis 2005: 106, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences.
- Możliwości wykorzystania odpadów zrębowych, kompostów, trocin na gruntach porolnych w celu inicjowania procesów przekształcenia gleby rolnej w leśną. 2003. IBL Warszawa.
- Olejarski I. 2005. Wykorzystanie pozostałości zrębowych do nawożenia organicznego gruntów porolnych. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 92: 20-24.
- Oszako T., Olejarski I. 2003. Inicjowanie procesów przekształcenia gleb porolnych w gleby leśne poprzez wykorzystanie pozostałości zrębowych, kompostów i trocin. *Prace IBL, Ser. A 1*: 76-79.
- Richards B. N. 1979. Wstęp do ekologii gleby. PWN, Warszawa.
- Rudawska M., Leski T., Gornowicz R. 2001. Mycorrhizal status of *Pinus sylvestris* nursery stock in Poland as influenced by nitrogen fertilization. *Dendrobiology* 46: 49-58.
- Rykowski K. 1990. Problemy ochrony lasu na gruntach porolnych. *Sylwan* 134 (3/12): 75-88.
- Sierota Z., Hilszczańska D. 2009. Struktura ektomikoryz i parametry biometryczne sosny po wysadzeniu na gruncie porolnym. *Sylwan* 153 (2): 108-116.
- Sierota Z., Kwaśna H. 1999. Ocena mikologiczna zmian zachodzących w glebie gruntu porolnego po dodaniu trocin iglastych. *Sylwan* 143 (4): 57-66.
- Sobczak R. 1990. Teoretyczne i praktyczne aspekty zakładania upraw i prowadzenia drzewostanów na gruntach porolnych. *Sylwan*. 134 (3/12): 61-74.
- Tracz H. 1993. Problemy udziału *Diplopoda* w dekompozycji materii organicznej borów świeżych. *Rozpr. Nauk. Monogr. Wydawn. SGGW, Warszawa*.
- Trojanowski J., Heider K. 1975. Degradation of phenolic compounds by soft rot and white rot fungi. W: Kilbertus G. i in. [red.]. Biodegradation et humification. 417-418.
- Twieg B. D., Durall D. M., Simard S. W. 2007. Ectomycorrhizal fungal succession in mixed temperate forests. *New Phytol.* 176 2: 437-447.
- Zaleski J. 2003. Zalesienia w PGL Lasy Państwowe. W: Zajac A., Gil W. [red.]. Zalesienia w Europie. Doświadczenia i zamierzenia. *Prace Inst. Bad. Leśn. Problemy współczesnego leśnictwa. IBL, Warszawa*.

SUMMARY

Changes in ectomycorrhizal structure of Scots pine growing on abandoned farmland soil enriched with organic substrates

The paper presents the analysis of ectomycorrhizal communities associated with *Pinus sylvestris* L. growing on post agricultural soil. The ectomycorrhizal structure was investigated ten years later after various organic substrates application. In autumn 2001, organic substrates (harvest residue, bark compost, sawdust) were applied to abandoned farmland, before outplanting of Scots pine seedlings. The aim of the treatments was to accelerate the transformation of agricultural soil towards the soil typical of forest ecosystem. The measurement of soil parameters showed that within the time (ten years) the pH-H₂O value slightly increased. The percent of C in the soil remained at the same level, whereas the nitrogen content increased, which caused the lower C/N ratio. The ectomycorrhizal species richness is maintained at a similar level of 10 morphotypes. The highest relative abundance, irrespective of the treatment, was observed for ectomycorrhizal fungus *Wilcoxina* sp., ectomycorrhizae of *Cortinarius* sp. *Pinirhiza* spp. were the most frequent taxa in all treatments. The results indicate that species richness and abundance of live and dead mycorrhizae are regulated by soil conditions, which were similar in analyzed treatments.