

WŁODZIMIERZ BURACZYK, HENRYK SZELIGOWSKI, MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA, STANISŁAW DROZDOWSKI, PRZEMYSŁAW JAKUBOWSKI

## Wzrost mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w warunkach zróżnicowanej wilgotności i żyzności podłoża\*

Growth of mycorrhized and non-mycorrhized Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings on substrates varying in moisture content and fertility

### ABSTRACT

Buraczyk W., Szeligowski H., Aleksandrowicz-Trzczińska M., Drozdowski S., Jakubowski P. 2012. Wzrost mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w warunkach zróżnicowanej wilgotności i żyzności podłoża. Sylwan 156 (2): 100-111.

The article compares the impact of production technique, planting material, soil type and moisture on the growth of pine seedlings. The material used in the experiment comprised pines grown in containers to which controlled mycorrhization with the fungus *Hebeloma crustuliniforme* was applied, as well as pines that had not been mycorrhized. The seedlings were grown in pots on two types of substrate (forest and post-agricultural soil) varying in cohesiveness and fertility. Four moisture levels (20%, 30%, 40% and 50%) were adopted.

### KEY WORDS

Scots pine, seedling, mycorrhization, *Hebeloma crustuliniforme*, container-grown seedlings

### ADDRESSES

Włodzimierz Buraczyk <sup>(1)</sup> – e-mail: wburaczyk@wp.pl

Henryk Szeligowski <sup>(1)</sup>, Marta Aleksandrowicz-Trzczińska <sup>(2)</sup>, Stanisław Drozdowski <sup>(1)</sup>, Przemysław Jakubowski <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Katedra Hodowli Lasu; SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

<sup>(2)</sup> Katedra Ochrony Lasu i Ekologii; SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

## Wstęp

Jednym z wielu czynników decydujących o udatności upraw leśnych jest wilgotność gleby. W warunkach klimatycznych Polski ma ona szczególnie znaczenie w pierwszych miesiącach po założeniu uprawy. Wynika to z częstego występowania tzw. „suszy wiosennej” i faktu, że w tym okresie sadzonki przechodzą szok transplantacyjny, a ich korzenie są słabo związane z glebą [Gorzelać 1999]. Zastosowanie materiału sadzeniowego z bryłką wyprodukowanego metodą kontenerową pozwala na poprawienie udatności upraw. Sadzonki takie m.in. nie przechodzą szoku posadzeniowego i lepiej adaptują się dzięki powolnemu przerastaniu korzeni z bryłki do otaczającej gleby [Szabla, Pabian 2003].

\* Badania były finansowane przez Dyрекcyję Generalną Lasów Państwowych w ramach tematu badawczego „Analiza i porównanie wzrostu oraz jakości upraw leśnych, założonych na gruntach porolnych z sadzonek wyprodukowanych różnymi technologiami szkółkarskimi z uwzględnieniem mikoryzacji sadzonek”.

Opracowanie przez Kowalskiego [2007] polskiej technologii mikoryzacji opartej na grzybie *Hebeloma crustuliniforme* pozwoliło produkować na szeroką skalę, głównie w szkółkach kontenerowych, mikoryzowany materiał sadzeniowy. Mikoryzowane sadzonki drzew leśnych przeznaczone są do zalesiania gruntów porolnych, nieużytków, gleb rekultywowanych, skażonych emisjami przemysłowymi, terenów po pożarach i innych gleb, w których brak jest właściwych dla danego gatunku drzewa grzybów ektomikoryzowych.

Zarówno w polskiej, jak i światowej literaturze przedmiotu można odnaleźć wiele publikacji dotyczących wpływu stresu wodnego na wzrost drzew leśnych. Hilszczańska [2001, 2002, 2003, 2004, 2005] prowadziła kompleksowe badania wpływu wilgotności podłoża na stan mikoryz sosny zwyczajnej w szkółkach leśnych. Prace te nakierowane były na poznanie struktury mikoryz i właściwości grzybów mikoryzowych, a nie wzrostu siewek. Analizowaną cechą wzrostową była objętość pędu, która jest najsilniej skorelowana z poziomem zmikoryzowania korzeni. Badania wykazały, że objętość pędów sosen rosnących w warunkach zarówno niedoboru, jak i nadmiaru wilgotności podłoża była istotnie większa w porównaniu z objętością pędów sosen deszczowanych zgodnie z normą.

Dotychczas w polskich warunkach nie prowadzono badań dotyczących wzrostu w uprawach leśnych mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek z bryłką w warunkach stresu wodnego. Trzy doświadczenia z tego zakresu przeprowadzono w Katedrze Hodowli Lasu SGGW. Wyniki dwóch z nich już opublikowano [Buraczyk, Szeligowski 2008; Buraczyk i in. 2012], natomiast trzecie prezentujemy w obecnej pracy.

Celem badań było porównanie wzrostu mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej hodowanych w warunkach niskiej wilgotności podłoża, które stanowiła gleba leśna i porolna.

## Material i metody

Do badań wykorzystano przeciętne pod względem wysokości sadzonki sosny zwyczajnej reprezentujące dwa rodzaje materiału sadzeniowego, wyprodukowanego w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Jabłonna. Jeden rodzaj stanowiły sadzonki mikoryzowane, zaś drugi niepoddane mikoryzacji. Sterowaną mikoryzację wykonano grzybem *H. crustuliniforme*, którego inokulum zostało wyprodukowane w laboratorium szkółki kontenerowej w Rudach Raciborskich w oparciu o technologię opracowaną przez Kowalskiego [2007]. Oba rodzaje materiału sadzeniowego zostały wyprodukowane w takich samych warunkach technologicznych szkółki kontenerowej z nasion pochodzących z jednego drzewostanu. Wykorzystane w doświadczeniu sadzonki mikoryzowane były średnio o 3,5 cm niższe od niemikoryzowanych. Ich korzenie były zmikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* w 65%, z czego około 10% stanowiły ektendomikoryzy, a 25% – korzenie autotroficzne. Natomiast korzenie sosen niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji posiadały ektendomikoryzy w tylko około 5%.

Doświadczenie przeprowadzono w warunkach namiotu foliowego na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie. Hodowlę sadzonek prowadzono na dwóch podłożach: glebie leśnej pobranej z siedliska boru świeżego oraz glebie porolnej pochodzącej z warstwy ornej. Skład chemiczny i granulometryczny tych podłoży został określony w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Wesołej k/Warszawy. Glebę leśną stanowił piasek luźny, zaś porolną – pył zwykły. Odczyn piasku wynosił 5,4 i był nieznacznie niższy od pH pyłu (5,78). W obu podłożach stwierdzono duże różnice w zawartości pierwiastków oraz próchnicy. W piasku zawartość próchnicy wynosiła 0,63%, natomiast w pyle – 2,58%. Azotu mineralnego w piasku było 1,92 mg/100g gleby, natomiast w pyle – 17,56 mg/100g gleby. Podobne proporcje odno-

towano w zawartości fosforu, potasu oraz magnezu. Szczegółowe wyniki analiz chemicznych oraz składu mechanicznego zostały przedstawione w pracy Buraczyka i Szeligowskiego [2008].

Piasek i pył wykorzystano jako podłoża w 10-litrowych wazonach, w których posadzono po 3 jednoroczne sadzonki z bryłką. W ramach każdego podłoża i rodzaju sadzonek wyróżniono po 4 warianty wilgotnościowe: 20%, 30%, 40% oraz 50% pełnej pojemności wodnej, co łącznie dało 16 wariantów. Każdy wariant wilgotnościowy liczył po 9 wazonów. Odpowiednią wilgotność w poszczególnych wazonach utrzymywano metodą wagową, codziennie dopełniając wodą do określonej dla każdego wazonu wagi. Doświadczenie zostało założone na początku maja i było prowadzone przez 5 miesięcy, obejmując cały okres przyrostu wysokości.

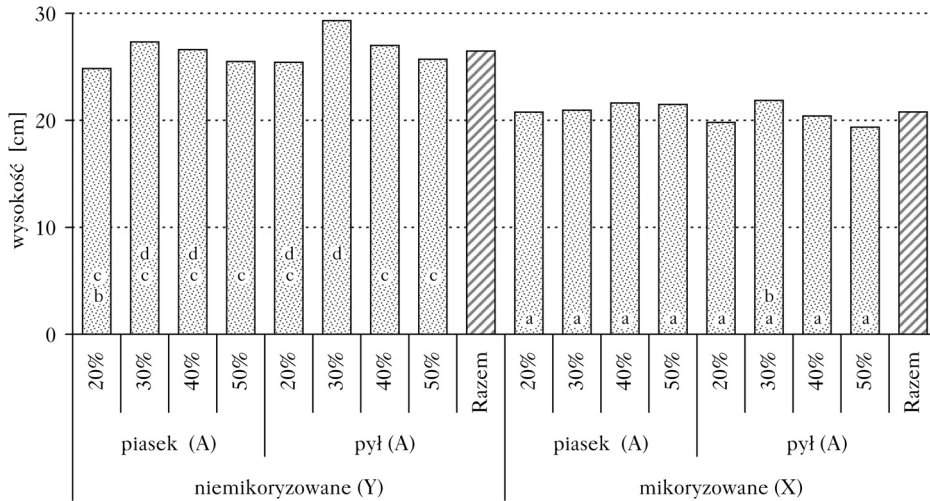
Przed założeniem doświadczenia zmierzono wysokości jednorocznych sadzonek, natomiast po jego zakończeniu wykonano pomiary całkowitej wysokości, przyrostu wysokości, grubości w szyi korzeniowej, suchej masy igieł, suchej masy pędów oraz wykonano pomiary korzeni, które przerosły z bryłki do podłoża w wazonach. Po wypłukaniu z podłoża, korzenie wykształcone podczas trwania doświadczenia oddzielono (odcięto) od bryłki i po skanowaniu poddano analizom w programie komputerowym WinRhizo 2002c. Do szczegółowej oceny wpływu badanych czynników na wzrost sadzonek wykorzystano tylko najważniejsze cechy morfologiczne systemów korzeniowych, takie jak łączna ich długość, liczba wierzchołków oraz współczynnik R, określający liczbę wierzchołków przypadających na 1 cm długości korzeni.

Analizy statystyczne poprzedzono sprawdzeniem rozkładu normalnego spostrzeżeń w poszczególnych wariantach doświadczenia testem Shapiro-Wilka oraz jednorodności wariancji testem Barletta. Procentowe wartości przyrostów wysokości sadzonek poddano transformacji według metody Blissa. W wyniku przeprowadzonych testów nie uzyskano istotnych odstępstw analizowanych spostrzeżeń od rozkładu normalnego. Ortogonalny układ doświadczenia pozwolił testować efekty każdego czynnika. Przy istotności efektów na poziomie  $\alpha=0,05$  zastosowano test rozstępu Duncana. Obliczenia wykonano przy pomocy oprogramowania Statistica 9.0.

## Wyniki

Wysokość sadzonek mikoryzowanych wyniosła średnio 20,8 cm, zaś sadzonki niemikoryzowane były średnio o około 6 cm wyższe (ryc. 1). Różnica ta jest istotna statystycznie ( $P<0,001$ ). Rodzaj podłoża nie miał wpływu na kształtowanie wysokości. Najniższe sadzonki wyrosły przy wilgotności 20%, a najwyższe przy 30%. Układ grup jednorodnych świadczy o większym zróżnicowaniu wysokości sadzonek niemikoryzowanych.

W czasie 5 miesięcy trwania doświadczenia sadzonki niemikoryzowane przyrosły na wysokość średnio o 2 cm więcej niż mikoryzowane (ryc. 2). W przypadku sadzonek mikoryzowanych rodzaj podłoża nie miał wpływu na wielkość bezwzględnego przyrostu wysokości, natomiast sosny niemikoryzowane rosnące na żyzniejszym podłożu pylastym miały istotnie większe przyrosty niż na podłożu piaszczystym. Największe przyrosty wysokości miały sosny przy wilgotności podłoża wynoszącej 30% i 40%. Średnie przyrosty procentowe obliczone dla materiału sadzeniowego niemikoryzowanego i mikoryzowanego uzyskały prawie identyczne wartości (odpowiednio 64% i 65%). Sadzonki niemikoryzowane rosnące na podłożu pylastym uzyskały większe procentowe przyrosty wysokości niż te na piaszczystym, ale różnice okazały się nieistotne statystycznie. Również w grupie sosen mikoryzowanych nie stwierdzono istotnych różnic w zależności od rodzaju podłoża. Najniższy (46%) procentowy przyrost wysokości uzyskały sadzonki niemikoryzowane rosnące na podłożu pylastym o najniższej wilgotności 20%. Zbliżony przyrost (około 50%) miały też sosny mikoryzowane hodowane na pyłe o wilgotności 50% oraz na piasku o wilgotności 20%. Największy względny przyrost (82%) odłożyły sadzonki mikoryzowane rosnące na podłożu pylastym o wilgotności 40% (ryc. 3).



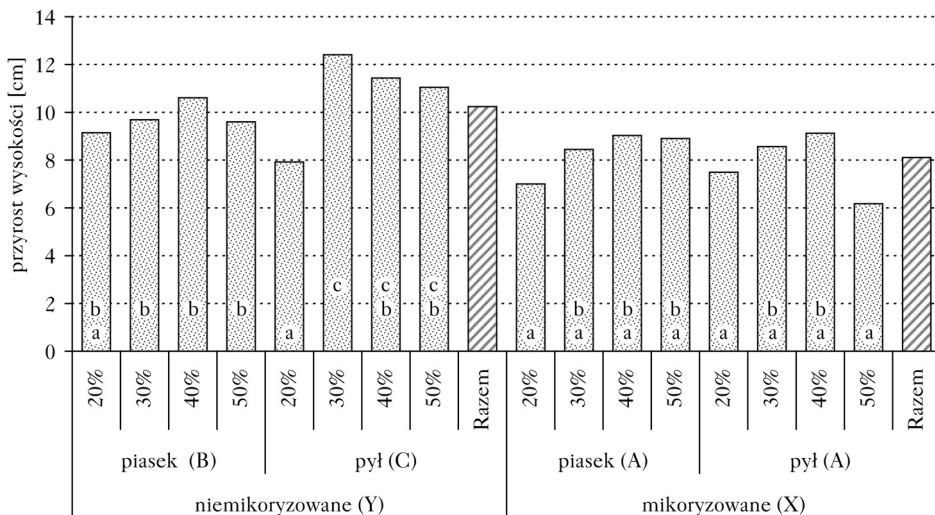
Ryc. 1.

Wysokość mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Height of mycorrhized and non-mycorrhized pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Literami oznaczono grupy jednorodnie według testu *post-hoc*; a, b, c, d, e, f – grupy na poziomie wariantu wilgotności; A, B, C – grupy na poziomie wariantu podłoża; X, Y – grupy na poziomie wariantu mikoryzacji

Letters indicate homogenous groups determined with *post-hoc* test; a, b, c, d, e, f – groups at the level of moisture content; A, B, C – groups at the level of substrate type; X, Y – groups at the level of mycorrhization status

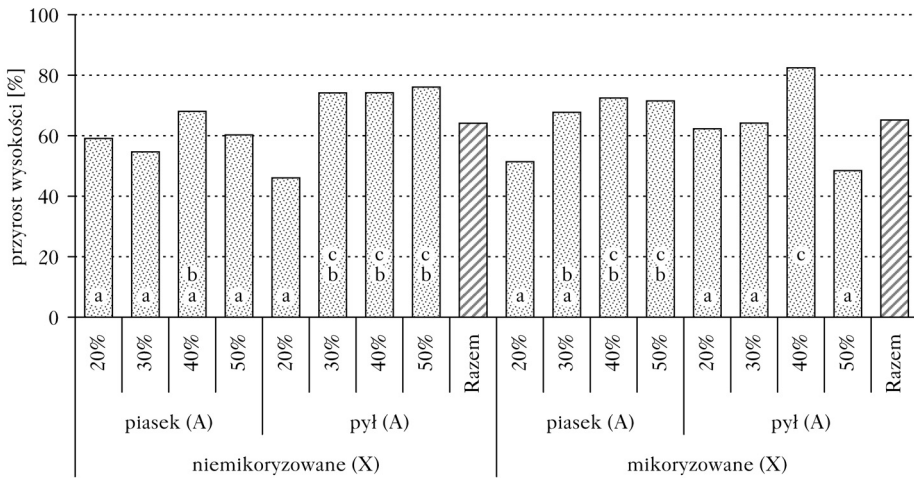


Ryc. 2.

Bezwzględny przyrost wysokości mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Absolute height and growth of pine seedlings with and without mycorrhization, depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1



Ryc. 3.

Procentowy przyrost wysokości mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Relative height growth of pine seedlings with and without mycorrhization depending on the type of substrate and its moisture content

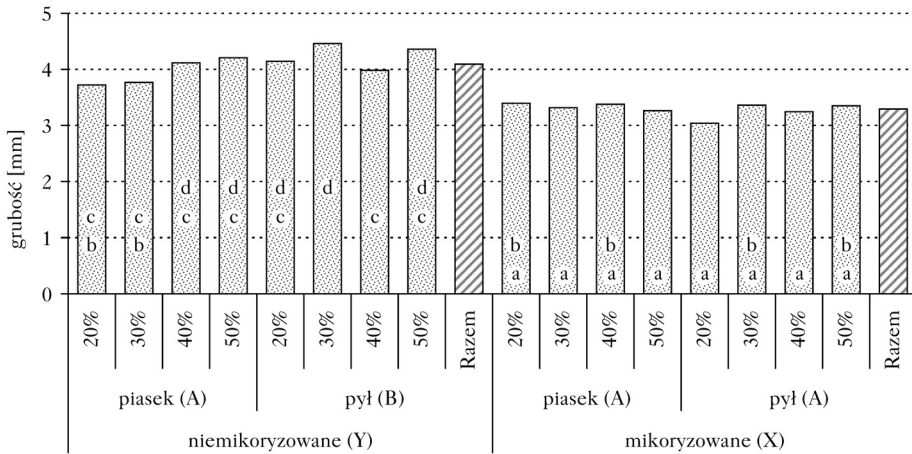
Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1

Grubość w szyi korzeniowej sadzonek kształtowała się bardzo podobnie jak przyrost ich wysokości. Sadzonki niemikoryzowane były o 0,8 mm grubsze niż mikoryzowane (ryc. 4). Różnica ta okazała się istotna statystycznie ( $P < 0,001$ ). W grupie sadzonek mikoryzowanych rodzaj podłoża i jego wilgotność nie miały wpływu na kształtowanie się grubości w szyi korzeniowej. Natomiast sadzonki niemikoryzowane rosnące na podłożu pylastym były istotnie grubsze niż na piaszczystym. Wzrost wilgotności w badanych przedziałach nie miał jednoznacznego wpływu na grubość sosen, bez względu na ich rodzaj oraz podłoże, na którym rosły.

Sucha masa pędu okazała się cechą zależną wyłącznie od technologii produkcji sadzonek w szkółce. Sosny poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji charakteryzowały się istotnie mniejszą suchą masą pędu w porównaniu z sadzonkami niepoddanymi temu zabiegowi ( $P < 0,001$ ). Zarówno wilgotność, jak i żyzność podłoża nie miały wpływu na kształtowanie tej cechy (ryc. 5). Sadzonki mikoryzowane wykształciły też aparat asymilacyjny o istotnie mniejszej masie niż sosny niepoddane mikoryzacji ( $P < 0,001$ ). W obrębie sosen mikoryzowanych test Duncana pozwolił zakwalifikować wszystkie średnie do jednej grupy jednorodnej statystycznie, co oznacza, że zróżnicowana wilgotność i żyzność podłoża nie powodowała zmian w wielkości suchej masy igieł (ryc. 6). Wielkość analizowanej cechy sadzonek niemikoryzowanych wyhodowanych na piasku i pyłe nie różniła się istotnie, ale odmiennie reagowała na wilgotność podłoża. Na piasku o wilgotności 40% sadzonki wykształciły igły o najmniejszej masie, zaś na podłożu pylastym o tej samej wilgotności uzyskały największą suchą masę w porównaniu do pozostałych wilgotności (20, 30 i 50%).

Po pięciu miesiącach wzrostu w warunkach namiotu foliowego sadzonki niemikoryzowane wykształciły pięciokrotnie dłuższe korzenie niż sosny mikoryzowane (ryc. 7). W grupie sadzonek mikoryzowanych korzenie uzyskały długość od 39 cm do 74 cm, natomiast w wariantach z sadzonkami niemikoryzowanymi długość korzeni kształtowała się od 142 cm do 550 cm. Na podłożu pylastym oba rodzaje materiału sadzeniowego uzyskały istotnie dłuższe korzenie niż na piasku. Natomiast bez względu na rodzaj sadzonek i rodzaj podłoża, najlepsze warunki

do wzrostu miały korzenie przy wilgotności 40%. Najniższa wilgotność (20%), w porównaniu z pozostałymi poziomami wilgotności, nie miała istotnego wpływu na badaną cechę. Liczba wierzchołków korzeni kształtowała się w sposób podobny do ich długości. U sadzonek mikoryzowanych korzenie miały średnio po 102, natomiast u niemikoryzowanych po 377 wierzchołków (ryc. 8). Różnica ta była istotna statystycznie ( $P < 0,001$ ), ale już w obrębie obu grup sadzonek

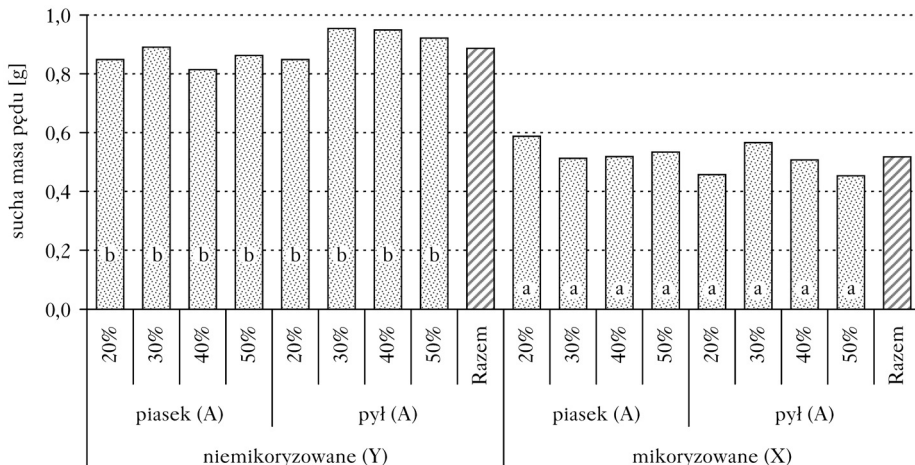


Ryc. 4.

Grubość szyjki korzeniowej mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Root collar diameter of mycorrhizal and non-mycorrhizal pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1



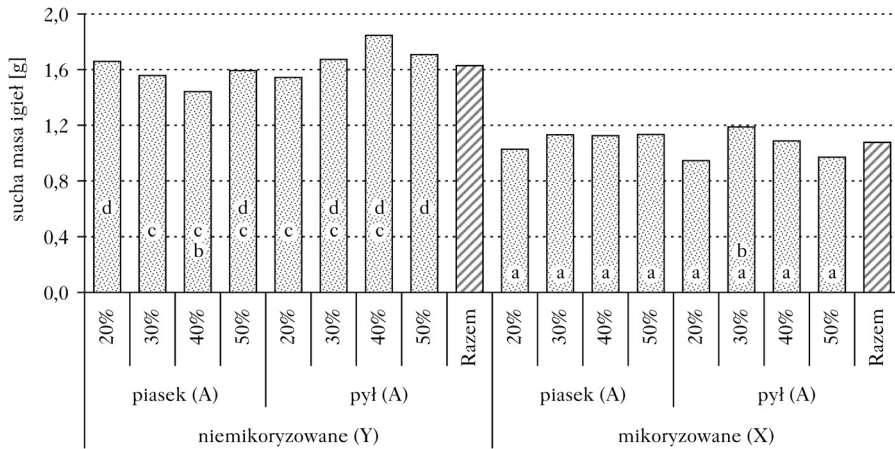
Ryc. 5.

Sucha masa pędu mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Dry mass of the shoot of mycorrhizal and non-mycorrhizal pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1

stosowane podłoża nie miały wpływu na liczbę wierzchołków korzeni. W grupie sadzonek mikoryzowanych nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie w wielkości analizowanej cechy w zależności od poziomu wilgotności podłoża. Natomiast u sosen niemikoryzowanych, hodowanych na podłożu piaszczystym istotnie mniej wierzchołków stwierdzono przy wilgotności 30%, a na pylastym przy wilgotności 20 i 50%.

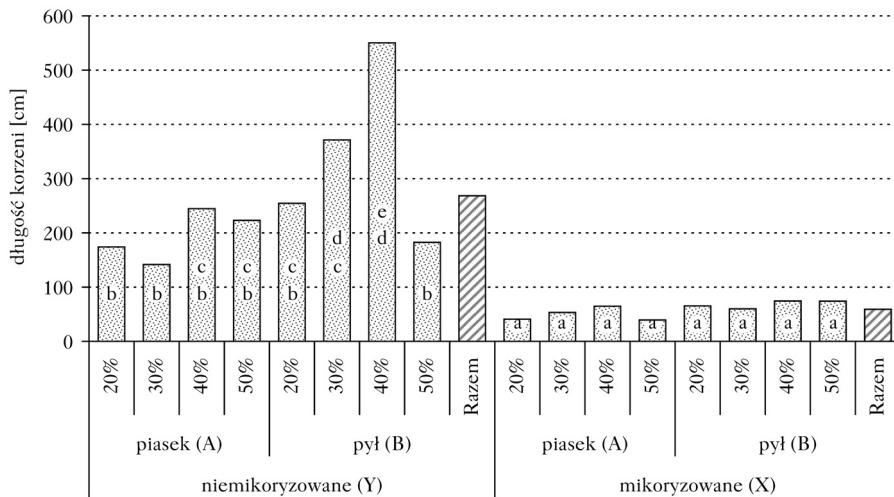


Ryc. 6.

Sucha masa igieł mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Dry mass of needles of mycorrhized and non-mycorrhized pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1



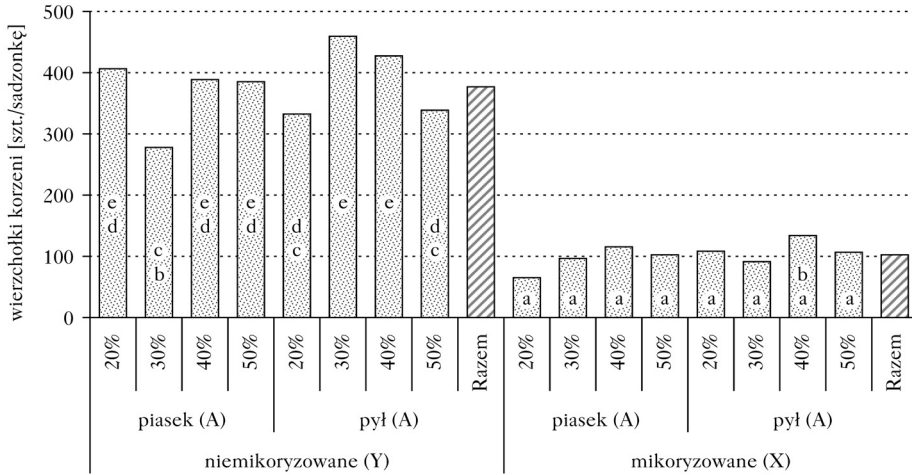
Ryc. 7.

Całkowita długość korzeni mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Total root length of mycorrhized and non-mycorrhized pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1

Współczynnik R (liczba wierzchołków przypadająca na 1 cm długości korzenia) był nieznacznie wyższy u sadzonek mikoryzowanych w porównaniu z niemikoryzowanymi (ryc. 9). Różnica ta nie była istotna statystycznie ( $P=0,297$ ). W obu grupach sosen współczynnik R uzyskał większe wartości na podłożu piaszczystym niż na pylastym, ale różnice te też nie były istotne statystycznie ( $P=0,0662$ ). W grupie sadzonek niemikoryzowanych na obu podłożach wzrost wilgotności

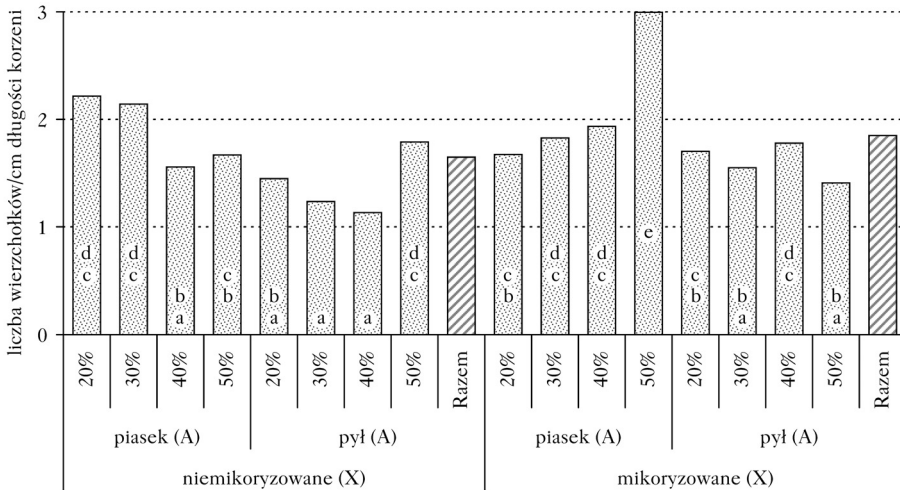


Ryc. 8.

Liczba wierzchołków korzeni mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Number of root tips of mycorrhized and non-mycorrhized pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1



Ryc. 9.

Liczba wierzchołków na 1 cm długości korzenia mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny w zależności od rodzaju podłoża i stopnia jego wilgotności

Number of root tips per centimetre of root length of mycorrhized and non-mycorrhized pine seedlings depending on the type of substrate and its moisture content

Oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as on figure 1



w przedziale 20-40% powodował spadek wartości współczynnika R. W przypadku materiału sadzeniowego mikoryzowanego takiej zależności nie stwierdzono, a nawet na podłożu piaszczystym wystąpiła zależność odwrotna, wraz ze wzrostem wilgotności wzrastał współczynnik R. Najmniej wierzchołków na długości 1 cm korzeni (1,1) stwierdzono u sadzonek niemikoryzowanych hodowanych na podłożu pylastym o wilgotności 40%, natomiast najwięcej wierzchołków miały sadzonki mikoryzowane rosnące na podłożu piaszczystym o wilgotności 50% (ryc. 9).

## Dyskusja

Na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Katedrze Hodowli Lasu SGGW prowadzone są badania dotyczące porównania materiału sadzeniowego, wyprodukowanego różnymi technologiami, w tym mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek sosny z produkcji kontenerowej. W ramach tych badań założono szereg upraw, również na gruntach porolnych i trudnych do odnowienia, a także przeprowadzono doświadczenia wazonowe testujące wpływ wilgotności podłoża.

Badania wpływu zróżnicowanej wilgotności podłoża, które stanowiła gleba leśna lub porolna, obejmowały trzy serie doświadczeń. Wyniki dwóch pierwszych, dotyczących wysokich wilgotności, zostały już opublikowane [Buraczyk, Szeligowski 2008; Buraczyk i in. 2012]. W badaniach tych wykazano między innymi, że zarówno mikoryzowane, jak i niemikoryzowane sosny przyrastały nieco lepiej na żyzniejszym podłożu, które stanowiła gleba porolna. Wilgotność na poziomie 40 i 55% nie miała wpływu na kształtowanie parametrów biometrycznych sadzonek. Wysoka wilgotność, wynosząca 70%, nie ograniczała rozwoju korzeni, obu rodzajów sadzonek, rosnących na piaszczystym podłożu gleby leśnej. Natomiast na spoistym podłożu, jakie stanowiła gleba porolna, zaobserwowano silne hamowanie wzrostu korzeni zarówno sadzonek mikoryzowanych, jak i niemikoryzowanych. Wyniki te były podstawą do kontynuacji badań nad wpływem niskiej wilgotności podłoża na wzrost.

W prezentowanych badaniach największy wpływ na kształtowanie parametrów wzrostowych sadzonek miała technologia ich produkcji w szkółce. Sosny poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* były istotnie mniejsze od niemikoryzowanych. Nie oznacza to jednak, że stanowiły one gorszy materiał sadzeniowy. Często stwierdza się, że drzewka lepiej zmikoryzowane są do 2-3 roku życia mniejsze [Stenström, Ek 1990; Aleksandrowicz-Trzcńska 2002, 2004]. Zjawisko to, traktowane jako naturalny proces fizjologiczny, wynika z przekazywania części produktów fotosyntezy rośliny gospodarza partnerowi grzybowemu [Nylund, Wallander 1989]. W wielu badaniach wykazano, że w zależności od gatunku grzyba i rośliny, rodzaju podłoża i zawartości składników pokarmowych oraz warunków pogodowych od 10 do 30% produktów fotosyntezy lokowanych jest w grzybni mikoryzowej [Fogel, Hunt 1979; Vogt i in. 1982; Högberg, Högberg 2002; Högberg i in. 2007]. Cechą, która najlepiej obrazuje opisane zjawisko, jest sucha masa pędu. Wielkość tej cechy nie zależy ani od żyzności podłoża, ani od jego wilgotności, a jedynie od technologii produkcji sadzonek w szkółce.

O dobrej jakości sosen mikoryzowanych świadczą cechy niezwiązane bezpośrednio z wielkością sadzonek, czyli procentowy przyrost wysokości, porównywalny u sosen mikoryzowanych i niemikoryzowanych oraz wyższy wskaźnik rozgałęzienia korzeni. Ponadto należy zwrócić uwagę, że sadzonki mikoryzowane przyrastały równie dobrze na ubogim podłożu piaszczystym, jak na żyznym pylastym, podczas gdy sosny niemikoryzowane na piasku przyrastały istotnie słabiej.

Stwierdzono brak istotnego wpływu na wzrost sosny najniższej przyjętej wilgotności podłoża, wynoszącej jedynie 20%. Morris i in. [2006] podają, że w warunkach wysokiej wilgotności słabe przewietrzanie gleby ogranicza wzrost korzeni, natomiast przy niskiej wilgotności zawar-

tość tlenu w glebie jest odpowiednia, a wzrost korzeni jest ograniczany mechanicznie. W warunkach polowych wpływ skrajnych wilgotności na wzrost sadzonek zależy od rodzaju gleby, jej spoiwości i sposobu przygotowania oraz klimatu [Blouin i in. 2008]. Porównanie uzyskanych przez nas i innych autorów wyników utrudnia stosowanie różnych jednostek określających zawartość wody w glebie oraz uwzględnianie w doświadczeniach wielu innych czynników. W warunkach, w jakich przeprowadziliśmy nasze doświadczenie, wilgotność podłoża wynosząca 20% nie ograniczała wzrostu sosny w żadnym z wariantów. Podobny wynik dla siewek daglezi hodowanych w kontenerach uzyskali Khan i in. [1996]. Wilgotność podłoża torfowo-wermikulitowo-perlitowego w zakresie 17-53% objętości gleby nie ograniczała wzrostu roślin. Niekorzystny wpływ na zawiązywanie pączka szczytowego, zawartość składników mineralnych w igłach i korzeniach oraz cechy morfologiczne siewek obserwowano przy bardzo niskiej wilgotności (7%) i wysokiej (65%). Wyniki uzyskane w poprzednich doświadczeniach przez Buraczyka i Szeli-gowskiego [2008] oraz Buraczyka i in. [2012] wskazują na silne ograniczanie wzrostu korzeni na spoistym podłożu pylastym przy wysokiej wilgotności (70%), odnoszące się zarówno do sadzonek mikoryzowanych, jak i niemikoryzowanych. Może to być spowodowane ograniczonym dostępem tlenu, na co również wskazują inni autorzy [Morris i in. 2006].

W doświadczeniu sadzonki hodowano na dwóch rodzajach podłoża o odmiennych właściwościach chemicznych i fizycznych. Gleba leśna, pobrana z siedliska boru świeżego (piasek luźny), była mniej spoista, charakteryzowała się niższym odczynem i mniejszą zawartością próchnicy i składników mineralnych w porównaniu z glebą porolną pobraną z warstwy ornej (pył zwykły). Sadzonki niemikoryzowane istotnie lepiej przystawały na żyznej glebie porolnej niż na ubogiej leśnej. Szybki wzrost drzew na gruntach porolnych, duży udział drewna wczesnego w słoju rocznym, a także wysoka zawartość azotu w tkankach mogą być przyczyną większej podatności rośliny na choroby [Baule, Fricker 1973]. Porównywalny wzrost sosen mikoryzowanych na obu podłożach może być efektem magazynowania „nadwyżek” składników mineralnych w mufce grzybniowej i uwalniania ich w miarę potrzeb rośliny [Rudawska 1993].

W doświadczeniu nie udało się udowodnić większej przydatności do hodowli, w warunkach niskiej wilgotności podłoża, sadzonek mikoryzowanych w porównaniu z niemikoryzowanymi. Być może przyczyną jest fakt, że zastosowany do mikoryzacji sadzonek grzyb *H. crustuliniforme* jest gatunkiem hydrofilnym [Stenström, Ek 1990; Stenström 1991] i wycofał się w tych warunkach podłoża. Można też przyjąć, że zarówno sosny niemikoryzowane, jak i mikoryzowane w trakcie trwania doświadczenia zawiązywały symbiozę z miejscowymi gatunkami grzybów. Inne badania prowadzone w szkółce LZD w Rogowie pokazały, że sosna hodowana na sterylnym podłożu torfowym tworzyła bardzo obfite mikoryzy [Aleksandrowicz-Trzcińska 2002; Hamera 2009]. Autorki wykazały obecność na korzeniach sosen partnerów grzybowych znakomicie tolerujących suszę (*Cenococcum geophilum*) i bardzo dobrze chroniących siewki przed niedoborami wody, których przykładem mogą być gatunki z rodzaju *Suillus* [Erland, Taylor 2003]. Wymienione czynniki mogły spowodować, że sosny dobrze tolerowały niską wilgotność bez względu na technologię produkcji sadzonek i rodzaj podłoża.

## Wnioski

- ✦ Największy wpływ na kształtowanie parametrów wzrostowych sosny (w porównaniu z żywnością i wilgotnością podłoża) miała technologia produkcji sadzonek w szkółce. Sosny mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* były istotnie mniejsze od niemikoryzowanych.
- ✦ Najniższa przyjęta w doświadczeniu wilgotność podłoża, wynosząca 20%, nie ograniczała wzrostu sadzonek sosny, bez względu na rodzaj materiału sadzeniowego (mikoryzowany i nie-

mikoryzowany) i podłoża (gleba leśna i porolna). Wilgotność podłoża w przedziale 30-50% również nie miała wpływu na wielkość parametrów biometrycznych sosny.

- ✦ Rodzaj podłoża, które stanowiła gleba leśna (piasek luźny) i porolna (pył zwykły), nie różnicował wzrostu sadzonek mikoryzowanych. Sosny niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji lepiej przyrastały na żyzniejszym podłożu pylastym.

## Literatura

- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2002. Wpływ fungicydów na wzrost i kolonizację mikoryzową sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) hodowanych w kontenerach. Wydawnictwo SGGW.
- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2004. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 3 (1): 5-15.
- Baule H., Fricker C. 1973. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Blouin V. M., Schmidt M. G., Bulier C. E., Kozic M. 2008. Effects of compaction and water content on lodgepole pine seedling growth. For. Ecol. Manage. 255: 2444-2452.
- Buraczyk W., Szeligowski H. 2008. Wpływ wilgotności i gatunku gleby na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z zakrytym systemem korzeniowym. LPB 69 (4): 291-297.
- Buraczyk W., Szeligowski H., Drozdowski S., Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2012. Wpływ wilgotności i gatunku gleby na wzrost mikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). LPB (w druku).
- Erland S., Taylor A. F. S. 2003. Diversity of ecto-mycorrhizal fungal communities in relation to the abiotic environment. W: van der Heijden M. G. A., Sanders I. R. [red.]. Mycorrhizal ecology. Springer, Berlin. 163-195.
- Fogel R., Hunt G. 1979. Fungal and arboreal biomass in western Oregon Douglas-fir ecosystem: distribution patterns and turnover. Can. J. For. Res. 9: 245-256.
- Gorzela A. [red.]. 1999. Zalesianie gruntów porolnych. IBL, Warszawa.
- Hamera A. 2009. Wpływ preparatów biologicznych stosowanych w ochronie siewek przed pasożytniczą zgorzelą na wzrost i kolonizację mikoryzową sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Praca doktorska wykonana na Wydziale Leśnym SGGW.
- Hilszczańska D. 2001. Stan symbiozy mikoryzowej i wzrost inokulowanych siewek sosny *Pinus sylvestris* L. rosnących w szklarni w warunkach różnej wilgotności podłoża. Sylwan 145 (7): 89-95.
- Hilszczańska D. 2002. Zmienność struktury ektomikoryz sosny zwyczajnej w warunkach zróżnicowanego deszczowania w szkółkach. Sylwan 146 (12): 61-68.
- Hilszczańska D. 2003. Wpływ deszczowania na kolonizację mikoryzową i zawartość ergosterolu w korzeniach siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Prace IBL, seria A, 4 (963): 55-64.
- Hilszczańska D. 2004. Mycorrhizal status of Scots pine *Pinus sylvestris* L. seedlings grow in watered and non-watered nursery condition. Dendrobiology 52: 23-28.
- Hilszczańska D. 2005. Wpływ deszczowania siewek *Pinus sylvestris* L. na zmiany w zbiorowiskach grzybów mikoryzowych i glebowych. LPB 4: 103-113.
- Högberg M. N., Högberg P. 2002. Extramatrical ectomycorrhizal mycelium contributes one-third of microbial biomass and produces, together with associated root, half the dissolved organic carbon in a forest soil. New Phytol. 154: 791-795.
- Högberg P., Högberg M. N., Göttlicher S. G., Betson N. R., Keel S. G., Metcalfe D. B., Campbell C., Schindlbacher A., Hurry V., Lundmark T., Linder S., Näsholm T. 2008. High temporal resolution tracing of photosynthate carbon from the tree canopy to forest soil microorganisms. New Phytol. 177: 220-228.
- Khan S. R., Rose R., Haase D. L., Sabin T. E. 1996. Soil water stress: Its effects on phenology, physiology, and morphology of containerized Douglas-fir seedlings. New Forests 12: 19-39.
- Kowalski S. [red.]. 2007. Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym. CILP, Warszawa.
- Morris L. A., Ludovici K.H., Torreano S. J., Carter E. A., Lincoln M. C., Will R. E. 2006. An approach for using general soil physical condition-root growth relationships to predict seedling growth response to site preparation tillage in loblolly pine plantations. For. Ecol. Manage. 227: 169-177.
- Nylund J. E., Wallander H. 1989. Effects of ectomycorrhiza on host growth and carbon balance in a semi-hydroponic cultivation system. New Phytol. 112: 389-398.
- Rudawska M. 1993. Mikoryza. W: Biologia sosny zwyczajnej. Sorus, Poznań – Kórnik. 137-182.
- Stenström E. 1991. The effects of flooding on the formation of ectomycorrhizae in *Pinus sylvestris* seedlings. Plant Soil 131:247-250.
- Stenström E., Ek M. 1990. Field growth of *Pinus sylvestris* following nursery inoculation with mycorrhizal fungi. Can. J. For. Res. 20, 914-918.
- Szabla K., Pabian R. 2003. Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym. CILP, Warszawa.
- Vogt K. A., Grier C. C., Meier C. E., Edmonds R. L. 1982. Micorrhizal role in net primary production and nutrient cycling in *Abies amabilis* ecosystems in western Washington. Ecology 63: 370-380.

## SUMMARY

Growth of mycorrhized and non-mycorrhized Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings on substrates varying in moisture content and fertility

The aim of the research was to compare the growth of Scots pine seedlings mycorrhized and not mycorrhized with the fungus *Hebeloma crustuliniforme* grown on forest (loose sand) and post-agricultural (plain dust) soil with different moisture content. The seedlings used in the experiment were produced in the container nursery located in the territory of the Jabłonna Forest District. The experiment was conducted in a foil greenhouse in the Forest Experimental Station in Rogów, Warsaw University of Life Sciences – SGGW. The pine seedlings were grown in pots containing substrates with the moisture 20%, 30%, 40% and 50%.

Seedling production technique in the nursery was found to have the greatest effect (compared to substrate fertility and moisture) on pine growth parameters. Pines mycorrhized with *H. crustuliniforme* were significantly smaller compared to non-mycorrhized trees.

The lowest soil moisture adopted in the experiment did not limit the growth of pine seedlings, irrespective of the type of the planting material (mycorrhized and non-mycorrhized) and substrate (forest and post-agricultural soil). Neither the 30%-50% soil moisture had effect on the size of seedling biometric parameters. The non-mycorrhized seedlings showed significantly better growth in the fertile post-agricultural soil than in the poor forest soil. The type of the substrate had no effect on the growth of mycorrhized seedlings.