

MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA

Ocena jakości hodowlanej dwuletnich sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) poddanych sterowanej mikoryzacji

Assessment of silvicultural quality of two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings under controlled micorrhization

ABSTRACT

Three methods were used to assess silvicultural quality of two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The assessment was based on measurements of biometric parameters, colonisation level of micorrhizas and electrical impedance of cambial tissues of shoots. The applicability of these methods with special reference to micorrhizal colonisation and impedance methods, which so far were not used in the assessment of the planting material, was analysed.

KEY WORDS

pine seedlings, silvicultural quality, biometric parameters, micorrhizal colonisation, electrical impedance

Wstęp

Zasady oceny jakości sadzonek produkowanych w szkółkach leśnych zostały określone w polskich normach PN-R-67025 i PN-R-67026 [Polska Norma 1999, 2001]. Kryteriami oceny są przede wszystkim cechy wzrostowe sadzonek: długość pędu i korzeni, grubość w szyjce korzeniowej. Uwzględnia się również stopień wykształcenia, a także formy morfologiczne części nadziemnej, pączków i systemu korzeniowego oraz stan zdrowotny. Przedstawiony zestaw cech nie charakteryzuje w pełni jakość sadzonek. Bardzo ważną informacją o jakości materiału sadzeniowego jest stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego.

W ocenie jakości coraz częściej podejmuje się również próby wykorzystania metod fizycznych [Wesoły, Wielgosz 1999], pozwalających określić stan fizjologiczny sadzonek. Jedną z nich jest metoda elektrometryczna, oparta na pomiarze oporu elektrycznego prądu zmiennego (impedancji). Metoda ta traktuje tkanki roślinne jako szczególnie przewodnik, którego oporność zależy od przewodności właściwej tej tkanki oraz jej grubości [Rykowski 1984]. Wartość oporu elektrycznego wskazuje na ogólną kondycję sadzonek, często określaną jako ich żywotność lub witalność [Wesoły, Wielgosz 1999].

W pracy przedstawiono analizę przydatności stopnia zmikoryzowania systemu korzeniowego oraz oporu elektrycznego tkanek przykambialnych pędu w ocenie jakości sadzonek sosny.

Materiał i metody

Sadzonki sosny hodowano w kasetach V-120 (w pierwszym roku) i V-370 (w drugim roku). Podłożem do produkcji był torf zmieszany z perlitem w stosunku 2:1. Odczyn podłoża wynosił pH=4,8. Sadzonki w obu sezonach

MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii
Wydział Leśny SGGW
ul. Rakowiecka 26/30
00-528 Warszawa
e-mail: aleksandrow@delta.sggw.waw.pl

wegetacyjnych nawożono tylko startowo w dawce 1kg/m^3 podłoża. W pierwszym roku hodowli zastosowano Osmocote Plus (15+ 11+ 13+ $2\text{MgO}+$ mikroelementy) a w drugim Osmocote Plus Mini (18+ 6+ 11+ $2\text{MgO}+$ mikroelementy), oba o czasie uwalniania składników 3-4 miesiące. Do mikoryzacji zastosowano szczepionkę prof. Stefana Kowalskiego (Katedra Fitopatologii Leśnej AR w Krakowie) z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél. Mieszano ją z podłożem w ilości 6% jego objętości tuż przed napełnieniem kaset i wysiewem nasion. Kontrolowanej inokulacji poddano połowę sadzonek tylko w pierwszym roku produkcji. Kasety w obu sezonach wegetacyjnych umieszczono w namiocie foliowym ustawiając na przemian sadzonki inokulowane i nieinokulowane. Na początku września pierwszego roku hodowli sosny przeniesiono poza namiot, gdzie pozostawały do pierwszych dni kwietnia następnego roku.

Na początku listopada drugiego roku hodowli wyjęto do badań 280 sadzonek inokulowanych i tyle samo nieinokulowanych. Bryłkę korzeniową każdej sadzonki owijano w folię aluminiową i oznaczano. Następnego dnia, w laboratorium dokonano pomiaru oporu elektrycznego tkanek przykambialnych przyrządem Mervit, austriackiej firmy ELASKOn. Przyrząd wyposażono w sondę złożoną z dwóch grotów rozstawionych w odległości 28 mm. Groty sondy wciskano w pęd równoległe do przebiegu cewek na taką głębokość aby ostrza mocno wbiły się w drewno. Dolny grot sondy wbijany był na wysokości około 1 cm powyżej szyjki korzeniowej. Na każdej sadzonce wykonano dwa pomiary z przeciwległych stron pędu. Temperatura powietrza odczytywana z miernika elektronicznego przyrządu Mervit zawierała się w granicach 21,1 -23,6°C. Ponieważ impedancja tego samego drzewa wykazuje zmienność w zależności od pory dnia [Rykowski 1984] na przemian dokonywano pomiarów sadzonki inokulowanej i nieinokulowanej.

Część nadziemną każdej sadzonki sosny scharakteryzowano grubością w szyjce korzeniowej oraz długością pędu po pierwszym i drugim roku życia.

Systemy korzeniowe po wyflukaniu wodą substratu analizowano pod mikroskopem stereoskopowym przy powiększeniu 6,3-40 razy. Wierzchołki mikoryzowe identyfikowano na podstawie obecności mufki grzybniowej, zabarwienia, występowania strzępek i sznurów grzybniowych odgałęziających się od jej powierzchni, braku włóśników, pogrubienia (hipertrofii) drobnych korzeni oraz przekształcenia ich w charakterystyczne formy mikoryzowe. Stopień zmikoryzowania sadzonek określono metodą liczenia wierzchołków mikoryzowych i autotroficznych na próbie korzeni jednorocznych (tegorocznych) o długości 1m, pobieranej z kilku miejsc systemu korzeniowego.

Części nadziemne i korzenie sadzonek suszono w temperaturze 105°C i ważono. Oddzielnie określono suchą masę dwóch części pędu (zeszłorocznego i tegorocznego) oraz igieł podwójnych.

Zebrany materiał empiryczny poddano analizom statystycznym. Po sprawdzeniu zgodności z rozkładem normalnym wszystkich badanych cech sadzonek wykonano analizę wariancji (program Stratgraphics Plus 4.1). Jednorodne grupy zostały utworzone w oparciu o test Duncana. Zbadano związek pomiędzy cechami biometrycznymi sadzonek i oporem elektrycznym. Zależności przedstawiono równaniami linii prostej, a siłę związku oceniono istotnością współczynnika korelacji prostoliniowej przy poziomie $\alpha=0,001$.

Wyniki badań

Sosny mikoryzowane szczepionką z grzybem *H. crustuliniforme* charakteryzowały się mniejszymi wymiarami od niemikoryzowanych (tab. 1). Przyrost wysokości, sucha masa: pędu zeszłorocznego oraz korzeni sadzonek szczepionych były istotnie statystycznie mniejsze

w porównaniu z tymi samymi parametrami sosen nieszczepionych. Grubość w szyjce korzeniowej, długość pędu i sucha masa igieł sosen inokulowanych, mniejsze wprawdzie niż u sadzonek nieinokulowanych, nie różniły się istotnie statystycznie. Wszystkie cechy biometryczne były bardziej zmienne (większe współczynniki zmienności) u sadzonek szczepionych *H. crustuliniforme* niż u nieszczepionych.

Wartość użytkowa sadzonek wyrażona stosunkiem masy pędu do korzenia u sadzonek inokulowanych wynosiła – 2,17, a u nieinokulowanych – 2,14. Różnice w wielkości tej proporcji okazały się nieistotne statystycznie.

Na korzeniach sadzonek, obok mikoryz utworzonych przez wprowadzony ze szczepionką *H. crustuliniforme*, stwierdzono 10 morfotypów mikoryz pochodzących z infekcji spontanicznych. Ponieważ niektóre morfotypy występowały sporadycznie, w celu przeprowadzenia analiz statystycznych i graficznego przedstawienia wyników, wszystkie morfotypy podzielono na 6 grup.

□ Grupa 1 – mikoryzy tworzone przez *H. crustuliniforme*.

1. *H. crustuliniforme* tworzyła mikoryzy jasne, nieco wydłużone, słabo rozgałęziające się – dominowały mikoryzy pojedyncze i dychotomiczne. Biała obfita grzybnia absorpcyjna osłaniała szelwnie wierzchołki mikoryzowe i przerastała podłoże.

□ Grupa 2 – mikoryzy brązowe z gładką mufką.

2. Barwa mikoryz zmieniała się od jasnobrązowej do brunatnej, czasami występowały ciemniejsze prążki lub plamki. Stwierdzano wszystkie formy mikoryz: pojedyncze, dychotomiczne i wielokrotnie dychotomicznie rozgałęzione oraz koralowate. Morfotyp ten dominował w grupie 2.

3. Mikoryzy brunatne z cienką, gładką mufką, maczugowatego kształtu. Występowały wszystkie formy mikoryz. Morfotyp ten stwierdzano niezbyt często, wyłącznie w górnej części systemu korzeniowego.

4. Mikoryzy ciemnobrązowe z niezbyt grubą, gładką mufką wydłużone i najszersze w środkowej części. Morfotyp ten występował sporadycznie.

□ Grupa 3 – mikoryzy z grzybnią absorpcyjną i ryzomorfami.

5. Mikoryzy brązowe, czasami bardzo ciemne, często

Tabela 1.

Cechy biometryczne i opór elektryczny dwuletnich sadzonek sosny (x - średnia, v% - współczynnik zmienności)
Biometric parameters and electrical resistance of 2-year-old pine seedlings (x - medium, v% - variability coefficient)

Wariant	Grubość w szyjce korzeniowej		Długość [cm]		Sucha masa [g]		Opór elektryczny [kΩ]									
	x	v%	pędu	przyrostu wysokości	przyrostu wysokości	igieł	korzeni	x	v%							
Sadzonki szczepione <i>H. crustuliniforme</i>	4,91a	14,5	28,4a	16,5	17,4a	19,5	1,69a	33,2	0,90a	36,5	26,0a	25,8	1,98a	29,3	108,8a	21,0
Sadzonki nieszczepione	5,06a	12,4	29,5a	13,7	18,5b	16,4	1,85b	29,8	1,02b	33,1	2,77a	24,3	2,16b	28,2	109,1a	19,5
	p=0,0934		p=0,1230		p=0,0425		p=0,0408		p=0,0242		p=0,1289		p=0,0443		p=0,9265	

Ta sama litera przy średnich w kolumnach oznacza brak różnic istotnych statystycznie między wariantami w teście Duncan'a, p – poziom istotności

skrócone i silnie rozgałęzione. Grzybnia absorpcyjna szara lub brązowa, ryzomorfy nieliczne. Morfotyp ten dominował w grupie 3.

6. Mikoryzy beżowe z cienką mufką. Powierzchnia mufki na młodych mikoryzach pokryta była błyszczącą grzybnią. Od powierzchni mufki odrastały liczne, pojedyncze, grube strzępki barwy beżowej i czarnej. Nielicznie występowały sznury grzybniowe. Dominowały formy złożone, zwłaszcza koralowate.

7. Mikoryzy jasne, silnie skrócone i rozgałęzione z białą obfitą grzybnią absorpcyjną. Morfotyp ten stwierdzono sporadycznie.

□ Grupa 4 – mikoryzy pomarańczowe

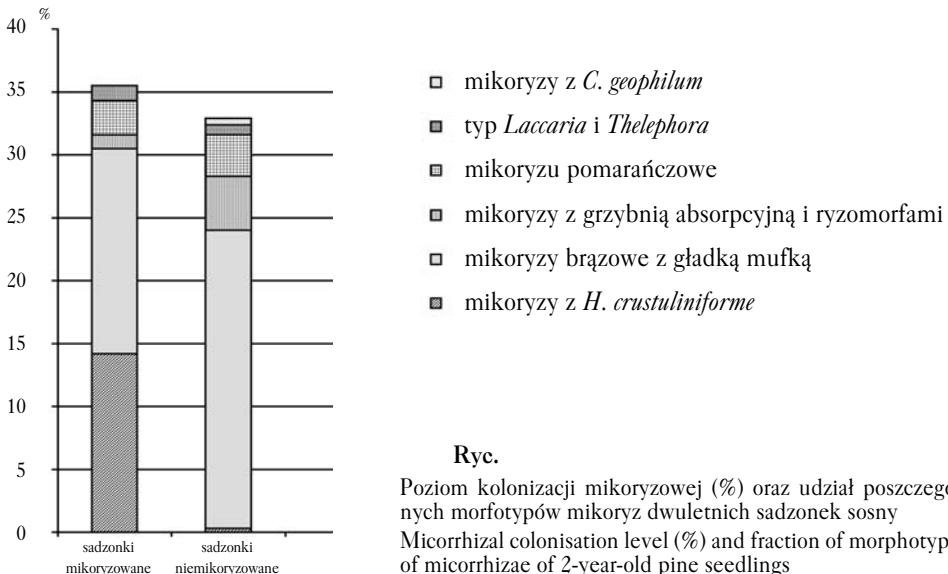
8. Intensywna pomarańczowa barwa tych mikoryz występowała tylko w momencie wyjmowania sadzonek z kasety. Później zmieniała się przez łososiową do jasnoróżowej. Mikoryzy te charakteryzowały się bardzo grubą mufką grzybniową oraz obfitą białą lub szarą grzybnią absorpcyjną i takiego samego koloru ryzomorfami. Dominowały mikoryzy typu grono.

□ Grupa 5 – mikoryzy typu *Laccaria* i *Thelephora*

9 i 10. Na podstawie pojawiających się owocników grzybów stwierdzono mikoryzy utworzone przez *Laccaria laccata* (Scop.: Fr.) Bk. et Br. i *Thelephora terrestris* (Pers.: Fr.). Trudności w prawidłowym wyróżnianiu, zwłaszcza młodych mikoryz tworzonych przez wymienione gatunki spowodowały zaliczenie ich do jednego morfotypu. Oba gatunki grzybów tworzyły mikoryzy jasne o gładkiej mufce, czasami z nielicznymi białymi strzępkami. Występowały wszystkie formy rozgałęzienia.

□ Grupa 6 – mikoryzy tworzone przez *Cenococcum geophilum* (Fr.: Fr.)

11. Mikoryzy cechowała czarna mufka i odrastające od niej promieniście, czarne, sztywne strzępki. *C. geophilum* tworzył wyłącznie mikoryzy pojedyncze i dychotomicznie rozgałęzione. Stopień zmikoryzowania sadzonek inokulowanych i nieinokulowanych wynosił odpowiednio 35,7% i 33,2% a różnice okazały się nieistotne statystycznie. Korzenie sadzonek różniły się jedynie udziałem poszczególnych morfotypów mikoryz (ryc.) chociaż tylko w przypadku mikoryz z *H. crustuliniforme* sadzonki inokulowane charakteryzowały się istotnie większym ich udziałem w porównaniu z nieinokulowanymi.



Ryc.

Poziom kolonizacji mikoryzowej (%) oraz udział poszczególnych morfotypów mikoryz dwuletnich sadzonek sosny
Micorrhizal colonisation level (%) and fraction of morphotypes of micorrhizae of 2-year-old pine seedlings

Opór elektryczny tkanek przykambialnych pędu sadzonek szczepionych *H. crustuliniforme* wynosił 108,8 k Ω i nie różnił się istotnie statystycznie od wynoszącego 109,1 k Ω oporu sadzonek nieszczepionych (tab. 1.)

Wszystkie cechy biometryczne sadzonek były bardzo istotnie ujemnie skorelowane z impedancją. Wartości współczynników korelacji prostoliniowej przedstawiono w tabeli 2.

Dyskusja

Jakość dwuletnich sadzonek sosny oceniono metodą tradycyjną na podstawie ich cech wzrostowych i proporcji budowy, poziomu kolonizacji mikoryzowej korzeni oraz wielkości oporu elektrycznego tkanek przykambialnych pędu.

Sosna zwyczajna hodowana w warunkach kontrolowanych najlepiej rośnie na podłożach torfowych w średnim namiocie foliowym [Gorzelał 1986, 1993]. Dobre warunki wzrostu w trakcie przebiegu doświadczenia zadecydowały o osiągnięciu przez sadzonki parametrów wzrostowych przekraczających wartości zawarte w normie dla materiału sadzeniowego. Dwuletnia sosna zwyczajna I klasy wyhodowana w warunkach kontrolowanych powinna charakteryzować się minimalną wysokością 20 cm i grubością w szyjce korzeniowej powyżej 3,5 mm [Polska Norma 1999]. Sadzonki w doświadczeniu były średnio wyższe o ok. 45% i grubsze o 43%.

Produkcja sadzonek w warunkach kontrolowanych prowadzi do ukształtowania mniej korzystnych proporcji budowy sadzonek w porównaniu ze szkółką otwartą. Z reguły charakteryzują się one silniej rozwiniętą częścią nadziemną i słabiej rozbudowanym systemem korzeniowym [Barzdajn 1981, Gorzelał 1986, Gunia 1992, Sabor 1999]. W badaniach Gorzelała (1986) wartość użytkowa jednorocznej sosny hodowanej w średnim namiocie foliowym na podłożu torfowym wynosiła od 2,9 do 4,7 w zależności od gęstości siewu. Proporcje sadzonek w przeprowadzonym doświadczeniu były korzystniejsze.

Często zdarza się, że sadzonki poddane kontrolowanej mikoryzacji są mniejsze od niemikoryzowanych. Zjawisko to wynika z konieczności przekazywania części produktów fotosyntezy rośliny-gospodarza partnerowi grzybowemu [Nylund, Wallander 1989].

Tabela 2.

Współczynniki korelacji prostoliniowej siły związku między oporem elektrycznym a cechami biometrycznymi dwuletnich sadzonek sosny
Linear correlation coefficient of the strength of the relationship between electrical resistance and biometric parameters of 2-year-old pine seedlings

Wariant	Grubość w szyjce korzenkowej		Długość [cm]		Sucha masa [g]		Liczba splotrzeżeń
	korzenkowej	korzenkowej	pędu	przyrostu wysokości	przyrostu wysokości	igieł	
Sadzonki szczepione <i>H. crustuliniforme</i>	-0,656**	-0,482**	-0,484**	-0,662**	-0,640**	-0,706**	280
Sadzonki nieszczepione	-0,674**	-0,444**	-0,472**	-0,714**	-0,717**	-0,784**	280
Łącznie	-0,659**	-0,460**	-0,470**	-0,674**	0,670**	-0,734**	560

** - istotny przy $\alpha = 0,001$

Istnieje pogląd że w zależności od gatunku grzyba i rośliny, rodzaju podłoża, zawartości składników pokarmowych, oraz warunków pogodowych od 10 do 30% produktów fotosyntezy lokowanych jest w grzybni mikoryzowej [Fogel, Hunt 1973, Vogt i in. 1982]. Zjawisko to należy traktować jako naturalny proces fizjologiczny. Wiele gatunków grzybów ektomikoryzowych takich jak *L. laccata*, *T. terrestris*, *H. crustuliniforme*, charakteryzujących się dużą efektywnością kolonizacji symbiotycznej sadzonek sosny, może powodować hamowanie wzrostu rośliny zwłaszcza w początkowej fazie. Zwykle po upływie 2-3 lat sadzonki mikoryzowane wyrównują wysokość a nawet przewyższają niemikoryzowane [Stenström, Ek 1990]. W prezentowanych badaniach mniejsze wymiary sosen inokulowanych niż nieinokulowanych, nie były powodowane różnicami w poziomie zmikoryzowania korzeni, bo te były niewielkie ale raczej, jak można przypuszczać, odmiennym udziałem poszczególnych morfotypów mikoryz. Bardzo dobrze rozbudowana, przerastająca dokładnie podłoże grzybni absorpcyjna *H. crustuliniforme* wymagała od sadzonek inokulowanych odprowadzania większych ilości produktów fotosyntezy w porównaniu z innymi morfotypami mikoryz.

W ocenie jakości materiału sadzeniowego na podstawie poziomu kolonizacji mikoryzowej powinno brać się pod uwagę obok ogólnego stopnia zmikoryzowania korzeni także udział ektomikoryz oraz różnorodność morfotypów/gatunków grzybów w kolonizacji mikoryzowej.

Sadzonki, zwłaszcza drzew iglastych, hodowane w szkółkach gruntowych o długim okresie użytkowania kwater charakteryzują się bardzo wysokim procentowym udziałem ektendomikoryz [Rudawska 2000, Rudawska i in. 2001]. Kowalski (2000) uważa, że sosna hodowana w szkółkach założonych na gruntach leśnych, jedynie do około 10 roku użytkowania szkółki tworzy charakterystyczne dla tego gatunku drzewa ektomikoryzy. Zanikanie w tych szkółkach typowych dla sosny grzybów ektomikoryzowych wiąże się najczęściej z nadmierną alkalizacją gleby, nawożeniem szczególnie azotowym, permanentną mechaniczną uprawą gleby i stosowaniem pestycydów, co w konwencji prowadzi do zmian mikrobiologicznych gleb leśnych, upodabniających je do gleb użytkowych rolniczo. Piętnastoletnie obserwacje w amerykańskich i kanadyjskich szkółkach kontenerowych również wykazały wysoki udział ektendomikoryz w kolonizacji korzeni zwłaszcza w warunkach stosowania wysokich dawek nawozowych [Castellano, Molina 1989]. Ektendomikoryza w szkółkach leśnych nie stwarza problemu (grzyb dobrze wykorzystuje azot ze związków azotanowych, sprzyjają mu alkaliczne gleby). Jednak siewki zaopatrzone tylko w tę mikoryzę używane do zalesiania gleb zdegradowanych (np. przez imisję przemysłowe) nieużytków, gruntów porolnych, nie znajdują w tych glebach właściwych dla siebie symbiontów i są bardziej podatne na choroby, a same ektendomikoryzy w takich warunkach zamierają znacznie szybciej niż ektomikoryzy [Kowalski 2000].

Zaobserwowano również, że korzenie siewek drzew hodowanych w kontenerach jak również w szkółkach otwartych są często zdominowane przez grzyb ektomikoryzowy *T. terrestris*, który owocuje od wiosny do jesieni, podczas gdy inne grzyby ektomikoryzowe produkują zarodniki głównie jesienią. Ektomikoryzy z grzybem *T. terrestris* są przystosowane do dobrze uprawionych, nawożonych i nawadnianych gleb w szkółkach, stanowiąc konkurencję dla innych grzybów ektomikoryzowych [Castellano, Molina 1989, Kowalski 2000, Rudawska i in. 2001].

Jakość sadzonek hodowanych w doświadczeniu ocenioną na podstawie poziomu kolonizacji mikoryzowej należy uznać za dobrą. Wprawdzie korzenie sosen były zmikoryzowane średnio jedynie w jednej trzeciej, lecz charakteryzowały się znaczną różnorodnością morfotypów, należących wyłącznie do ektomikoryz. Dominacja dwóch morfotypów mikoryz (ryc.), w tym stworzonych przez *H. crustuliniforme* z bardzo obfitą grzybnią absorpcyjną decyduje o nieco lepszej jakości sadzonek inokulowanych niż nieinokulowanych.

Metoda oceny jakości sadzonek na podstawie impedancji ma wiele zalet: pomiary są przyżyciowe i powtarzalne, można wykonywać je w laboratorium lub w warunkach polowych. Jeżeli na żywotność sadzonek wyrażoną oporem elektrycznym miały wpływ tylko warunki wzrostu i nie działały żadne czynniki stresowe cechy biometryczne sadzonek są bardzo istotnie ujemnie skorelowane z wartością impedancji (tab. 2.) [Wesoły i in. 1998]. Oznacza to, że w takiej sytuacji na podstawie wyników pomiarów oporu elektrycznego możemy ocenić rozmiary sadzonek.

Największą wadą tej metody jest relatywny charakter uzyskiwanych wyników. Pomiar nominalnej wartości impedancji nie jest możliwy. Nie można porównywać wyników uzyskiwanych w różnych szkółkach i w różnym czasie (impedancja zmienia się w cyklu dobowym i sezonowym) [Rykowski 1984]. Nie jest również możliwe, aby określając impedancję konkretnej sadzonki czy drzewa wnioskować na temat ich stanu fizjologicznego. Jedynie na podstawie pomiarów porównawczych określonych zbiorowisk lub populacji można wnioskować o aktualnym i przyszłym stanie fizjologicznym sadzonek oraz wpływie różnych czynników stresowych [Rykowski 1984].

Impedancja zależy w dużej mierze od koncentracji jonów w płynach komórkowych [Van Den Driessche 1969, Tattar 1974] oraz od stopnia uwodnienia tkanek [Fensom 1966]. Jednocześnie wiadomo, że w komórkach największą wartość impedancji mają błony cytoplazmatyczne [Pukacki 1973, 1979].

W zależności od tego w jaki sposób czynnik stresowy wpływa na wyżej wymienione elementy określona wartość impedancji może charakteryzować zarówno sadzonki o lepszej jak i słabszej żywotności.

Uszkodzenie tkanki roślinnej przez niskie temperatury między innymi objawia się rozluźnieniem błon komórkowych zwiększa się ich przepuszczalność dla jonów, co powoduje wzrost stężenia elektrolitów w kanałach ścian komórkowych i w konsekwencji znaczne obniżenie impedancji w stosunku do tej jaka charakteryzuje tkankę nieuszkodzoną [Pukacki 1973, 1979, 1982].

Niektóre czynniki stresowe jak redukcja systemu korzeniowego, defoliacja, infekcja patogenicznych grzybów zmniejszają intensywność transportu wody i jonów, powodując zwiększenie impedancji w porównaniu z roślinami, na które czynniki stresowe nie działają [Rykowski 1984, Wargo, Skutt 1975, Wesoły i in. 1998].

Jednak w przypadku chorób grzybowych w pierwszej fazie infekcji obserwuje się obniżenie oporności elektrycznej będące wynikiem pobudzenia rośliny przez patogena do intensywnych przemian metabolicznych i wzmożonej translokacji płynów. Umożliwia to wykrywanie ataku pasożyta zanim wystąpią objawy chorobowe [Rykowski 1984].

Nawożenie mineralne powoduje zmniejszenie oporu elektrycznego. Sadzonki nawożone charakteryzują się niższą impedancją w porównaniu z sadzonkami nienawożonymi [Rykowski 1984].

Sadzonki w doświadczeniu nie różniły się wielkością impedancji. Jednak sosny mikoryzowane istotnie statystycznie mniejsze powinny charakteryzować się większym oporem elektrycznym od niemikoryzowanych (przyjmując, że na wzrost sadzonek nie miały wpływu żadne czynniki stresowe). Ponieważ impedancja sosen inokulowanych była mniejsza o 0,3 k Ω od wartości tej cechy sosen nieinokulowanych można wnioskować na tej podstawie o nieco lepszej żywotności sadzonek mikoryzowanych od niemikoryzowanych.

Jednak do właściwej interpretacji wyników uzyskanych z pomiaru oporu elektrycznego konieczna jest znajomość warunków wzrostu roślin oraz czynników stresowych na nie

działających. Wyższy opór elektryczny może charakteryzować sadzonkę o mniejszych rozmiarach spowodowanych lepszym zmikoryzowaniem korzeni ale również roślinę ze słabo rozwiniętym aparatem asymilacyjnym, z uszkodzonym systemem korzeniowym lub chorą. Niższe wartości impedancji nie zawsze będą cechować tylko sadzonki o wyższej żywotności ale również przenawożone, zwłaszcza azotem, oraz rośliny tuż po infekcji patogenicznymi grzybami.

Oceniając sadzonki wyhodowane w doświadczeniu na podstawie tylko cech biometrycznych i proporcji budowy nie możemy wykazać które z nich, mikoryzowane czy niemikoryzowane, są lepszej jakości. Takie rozróżnienie jest możliwe jeśli oceniać będziemy kolonizację mikoryzową sadzonek oraz ich żywotność na podstawie wartości oporu elektrycznego.

Wykorzystanie w ocenie jakości materiału sadzeniowego, obok cech biometrycznych, stopnia zmikoryzowania korzeni oraz pomiaru oporu elektrycznego pozwala na pełniejsze określenie wartości hodowlanej sadzonki. Właściwie interpretując wyniki możemy z większym prawdopodobieństwem przewidzieć zdolność do dobrego przyjmowania się sadzonek i intensywnego wzrostu na uprawie.

Literatura

- Barzdajn W. 1981. Wpływ gęstości siewu buka pospolitego (*Fagus sylvatica* L.) w szkółkach i w namiocie foliowym na morfologiczne cechy jednorocznych siewek oraz na udatność i wzrost uprawy. Sylwan 6: 13-20.
- Castellano M. A., Molina R. Mycorrhizae. W: The container tree nursery manual. V5. Agric. Handbk. 674. T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, J. P. Barnett. Wshington 1989, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 101-167.
- Van Den Driessche R. 1969. Measurement of frost-hardiness in two-years old Douglas fir seedlings. Can. J. Plant Sci. 49: 159-172.
- Fensom D. S. 1966. On measuring electrical resistance in situ in higher plants. Can. J. Plants Sci. 46: 169-175.
- Fogel R., Hunt G. 1979. Fungal and arboreal biomass in a western Oregon Douglas – fir ecosystem: distribution patterns and turnover. Can. J. For. Res. 9: 245-256.
- Gorzelać A. 1986. Badania warunków wzrostu i produkcji siewek niektórych gatunków drzew leśnych w namiotach foliowych. Prace IBL 653: 3-84.
- Gorzelać A. 1993. Kształtowanie się warunków mikroklimatycznych w namiotach foliowych i oddziaływanie ich na wzrost siewek. Notatnik Naukowy IBL 5(24): 1-6.
- Gunia S. 1992. Produkcja sadzonek w warunkach kontrolowanych. W: R. Sobczak [red.], Szkółkarstwo leśne, 90-109. Oficyna Edytorska „Wydawnictwo Świat”, Warszawa.
- Kowalski S. 2000. Mikoryzy i ich znaczenie dla optymalnego wzrostu i rozwoju drzew leśnych oraz potrzeby i możliwości sztucznej mikoryzacji materiału sadzeniowego. Leśny Bank Genów Kostrzyca, 19: 18-30.
- 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.
- Polska Norma 1999. Materiał sadzeniowy. Sadzonki drzew i krzewów do upraw leśnych i na plantacje. PN-R-67025.
- Polska Norma 2001. Materiał sadzeniowy. Sadzonki drzew i krzewów do zadrzewień i zakrzewień. PN-R-67026.
- Pukacki P. 1973. Laboratoryjne metody oceny odporności roślin drzewiastych na niskie temperatury. Arboretum Kórnickie 18: 187-198.
- Pukacki R. 1979. Dependence of electrical impedance of *Magnolia* shoots on temperature. Arboretum Kórnickie 24: 187-192.
- Pukacki R. 1982. Influence of freezing damage on impedance parameters in *Magnolia* shoots. Arboretum Kórnickie 27: 219-234.
- Rudawska M. [red.] 2000. Ektomikoryza, jej znaczenie i zastosowanie w leśnictwie. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Rudawska M., Leski T., Gornowicz R. 2001. Mycorrhizal status of *Pinus sylvestris* L. nursery stock in Poland as influenced by nitrogen fertilization. Dendrobiology 46: 49-58.
- Rykowski K. 1984. Elektrometryczna metoda oceny stanu fizjologicznego sosny porażonej przez *Armillaria mellea* w warunkach nawożenia mineralnego. Prace IBL 635: 81-103.
- Sabor J. 1999. Możliwości zastosowania substratów trocinowo-torfowych do produkcji sadzonek w namiotach foliowych. Sylwan 1: 99-112.
- Stenström E., Ek M. 1990. Field growth *Pinus sylvestris* following nursery inoculation with mycorrhizal fungi. Can. J. For. Res. 20: 914-918.

- Tattar T. A. 1974. Measurement of electrical currents in clear, discolored and decayed wood from living trees. *Phytopathology* 64: 1375-1376.
- Vogt K. A., Grier C. C., Meier C. E., Edmonds R. L. 1982. Mycorrhizal role in net primary production and nutrient cycling in *Abies amabilis* ecosystems in western Washington. *Ecology* 63: 370-380.
- Wargo P. M., Skutt H. R. 1975. Resistance to pulsed electric current: and indicator of stress in forest trees. *Can. J. For. Res.* 5: 557-561.
- Wesoły W., Wielgosz E. 1999. Metody fizjologiczne oceny jakości sadzonek. W: Stan i perspektywy badań z zakresu hodowli lasu. Materiały I Konferencji Leśnej 18-19.05.1999, Sękocin Las. 198-204. IBL, Warszawa.
- Wesoły W., Pukacki P. M., Naparty E. 1998. Zastosowanie metod biofizycznych do oceny żywotności sadzonek sosny, świerka i modrzewia. *Sylvan* 8: 55-64.

SUMMARY

Assessment of silvicultural quality of two-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings under controlled micorrhization

Containerized Scots pine seedlings were grown under controlled conditions (plastic greenhouse, peat-perlite substrate). Half of the seedlings were mycorrhized with the fungus *Hebeloma crustuliniforme*. By the end of the second production year silvicultural quality of the seedlings was assessed using three methods based on measurements of biometric parameters and shoot/root ratio, colonisation level of micorrhizas and electrical impedance with a Mervit apparatus (Austrian company ELASKOn). The assessment of silvicultural quality based only on measurements of biometric parameters cannot be complete. The assessment extended on the colonisation level of root micorrhizas and seedling vigour determined on the basis of impedance measurements provides more comprehensive information about silvicultural usefulness of seedlings.