

DOROTA HILSZCZAŃSKA, ZBIGNIEW SIEROTA

Zawartość składników pokarmowych w igłach sadzonek sosny zwyczajnej inokulowanej *Thelephora terrestris**

Content of mineral nutrients in Scots pine seedlings inoculated with *Thelephora terrestris*

ABSTRACT

Hilszczańska D., Sierota Z. 2012. Zawartość składników pokarmowych w igłach sadzonek sosny zwyczajnej inokulowanej *Thelephora terrestris*. Sylwan 156 (5): 391-400.

The changes of N, P, K, Ca and Mg content in Scots pine needles over 4 years of the experiment were estimated in 2 treatments – inoculated in laboratory with the ectomycorrhizal fungus *Thelephora terrestris* and non inoculated (control). The seedlings were grown in a greenhouse for one season and then planted out into post-agricultural soil. Statistically significant differences were found only for Mg concentration in needles of two-year-old initially inoculated seedlings. For both treatments N and K concentration differed between all analysed years of growth. In the case of P and Ca concentration differences were found neither for treatments, nor for years. Four-year-old inoculated seedlings had lower concentration of all investigated nutrients with the exception of Ca. In both treatments the concentration of nutrients was at optimal level for four-year-old seedlings' growth. Obtained results suggest that environmental conditions as well as plant metabolism may influence the nutrient concentration in the needles more strongly than their uptake by ectomycorrhizal symbionts on the roots.

KEY WORDS

nutrients, mycorrhizae, *Thelephora terrestris*, Scots pine, post-agricultural land

ADDRESSES

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

Zbigniew Sierota – e-mail: Z.Sierota@ibles.waw.pl

Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3; 05-090 Raszyn

Wstęp

Symbioza ektomikoryzowa reguluje dwa podstawowe dla roślin procesy życiowe, czyli pobieranie z podłoża wody oraz makro- i mikroelementów, jak również rozprowadzanie w roślinie węgla, przy czym pewna jego część trafia także do grzybni [Simard i in. 2002]. Rośliny zaopatrzone w ektomikoryzy często cechuje wyższa zawartość składników pokarmowych niż rośliny niemikoryzowane, szczególnie gdy rosną na glebach zawierających trudnodostępne formy makroelementów [Jones in. 1990]. Według Rousseau i in. [1992] obecność grzybni ektomikoryzowej w glebie warunkuje pobieranie fosforu przez siewki sosny.

Wśród gatunków, czy nawet szczepów, grzybów ektomikoryzowych istnieje zróżnicowanie pod względem oddziaływania składników pokarmowych na stopień ich przyswajalności przez roślinę oraz na parametry jej wzrostu [Dell i in. 1994]. Różnice te wynikają nie tylko ze stopnia zmikoryzowania korzeni przez właściwe im grzyby ektomikoryzowe, ale także są związane z aktywnością rozwoju strzępek grzybni w glebie [Colpaert i in. 1992; Thomson i in. 1994].

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 3PO6L 047 24, finansowanego przez MNiSW w latach 2003-2006.

Grzybnia rozprzestrzeniająca się w profilu glebowym, tzw. grzybnia ekstramatrykalna, oraz wytwarzane ryzomorfy mogą bowiem penetrować glebę w zróżnicowanym zakresie [Agerer 2001]. Według Schramma [1966] ryzomorfy *Pisolithus tinctorius* na korzeniach siewek sosny osiągały długość nawet około 42 cm. Znaczenie rozprzestrzeniania się grzybni w glebie zostało opisane przez Reada [1992], który obliczył, że łączna długość strzępek grzybni *Suillus luteus* może wynosić 200 mb/g suchej gleby.

Do grzybów mikoryzowych najczęściej kolonizujących sadzonki sosny rosnące w otwartych szkółkach leśnych należą takie gatunki jak: *Laccaria laccata*, *Hebeloma crustuliniforme* i *Thelephora terrestris* [Stenstrom 1991; Unestam, Sun 1995; Rudawska i in. 2001; Hilszczańska 2005]. Szczególnie duży udział mikoryz tworzonych przez *T. terrestris* stwierdzony został u sadzonek pochodzących ze szkółek użytkowanych przez wiele lat i szkółek wielkoobszarowych [Kowalski 1997; Hilszczańska, Sierota 2005]. Ekspansywny charakter *T. terrestris* może być także związany z wykształconym typem grzybni ekstramatrykalnej. Według Agerera [2001] grzybnia *T. terrestris* reprezentuje tzw. średni typ eksploracji gleby, dzięki czemu może rozprzestrzeniać się na dość duże odległości i pobierać wodę oraz składniki pokarmowe nawet z odległości około 20 cm.

Wszędobylski charakter grzyba *T. terrestris* w szkółkach leśnych w Polsce i powszechna obecność tworzonych z jego udziałem mikoryz stały się przesłankami do wyjaśnienia roli tego gatunku w zbiorowisku grzybów mikoryzowych. Znaczenie grzyba *T. terrestris* zostało przeanalizowane i opisane w licznych pracach [Hilszczańska, Sierota 2006a, b; Sierota, Hilszczańska 2009]. Szczególna uwaga zastała zwrócona na rolę tego gatunku w kształtowaniu składu zbiorowisk grzybów tworzących mikoryzy po wysadzeniu sadzonek sosny do gleby porolnej [Hilszczańska 2010] oraz na wpływ tego gatunku na gospodarkę azotem przez rosnące w takich warunkach drzewka [Hilszczańska 2009].

Celem prezentowanej pracy była ocena wpływu kontrolowanej obecności mikoryz z grzybem *T. terrestris* na zmiany zawartości wybranych pierwiastków biogennych w igłach sadzonek sosny przed i 3 lata po wysadzeniu na stanowiska stałe.

Materiał i metody

Nasiona sosny (*P. sylvestris* L.), pochodzące z Leśnego Banku Genów w Kostrzycy, proweniencja Susz, poddano powierzchniowej sterylizacji w H_2O_2 (30%), a następnie wysiano do pojemników firmy Roots-Trainer o pojemności 123 cm³, wypełnionych mieszanką torfu i wermikulitu (2/1 v/v). Zastosowano jednorazowe nawożenie (zgodnie z instrukcją wystarczające na 6 miesięcy wzrostu) wolno rozpuszczalnym nawozem granulowanym „Osmocote”. Nawożenie dla wszystkich siewek (niezależnie od wariantu doświadczenia) było jednakowe i wynosiło 0,03 g nawozu na roślinę. Odczyn podłoża w KCl wynosił 4,1. Udział azotu w nawozie ogółem wynosił 15%, z czego forma azotanowa stanowiła 52,6%, a forma amonowa – 47,4%. Doświadczenie prowadzone było w kabinie hodowlanej firmy Mytron Bio przy wilgotności względnej powietrza około 70%, w rytmie dzień/noc 18/6 h i 23/14°C. Inokulację siewek sosny grzybnią *Thelephora terrestris* (Erhr.) Fr, pochodzącą z muzeum czystych kultur ZFL (nr 747), wykonano 28 dni po wysiewie nasion przez dodanie (wstrzyknięcie) do każdego pojemnika z pojedynczą siewką w strefę ryzosfery 5 ml zmiksowanej w mikserze grzybni (0,025 g suchej wagi na każdą roślinę) zawieszanej w wodzie destylowanej. U siewek z kontroli (niemikoryzowanych) stosowano wstrzykiwanie do ryzosfery 5 ml wody destylowanej. Terminy „mikoryzowane” i „niemikoryzowane” stosowane w niniejszym opracowaniu są umowne i określają warianty z 1. roku doświadczenia. Po wysadzeniu w uprawie wszystkie sadzonki miały mikoryzy, w których partnerem były grzyby

autochtoniczne. W wariancie „mikoryzowane” były to także mikoryzy z wprowadzonym inokulum *T. terrestris*.

Po 6 miesiącach hodowli pobrano po 15 siewek z każdego wariantu celem wykonania analizy chemicznej wybranych składników pokarmowych w igłach. Podobne oceny wykonano po 1 i 3 latach wzrostu sadzonek w uprawie w warunkach gruntu porolnego [Hilszczańska i in. 2008]. Pędy siewek oraz po 3 losowo wybrane pędy boczne z ostatniego rocznika po pierwszym (2004) i trzecim (2006) sezonie wegetacyjnym suszono w temperaturze 70°C, a następnie zbierano z nich igły do analizy. Analizy wykonano w Laboratorium Samodzielnej Pracowni Chemii Środowiska Leśnego (nr akredytacji AB 740) Instytutu Badawczego Leśnictwa według metod opisanych przez Page i in. [1982]. Azot organiczny badano metodą Kjeldahla, a zawartość P, K, Ca, Mg – metodą ICP po mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego i nadchlorowego.

Wyniki porównano przy użyciu pakietu Statistica, stosując dwuczynnikową analizę wariancji. Istotność różnic oceniano przy pomocy testu Tukey'a na poziomie $p < 0,05$. Uzyskane dane posłużyły także do wskaźnikowej oceny zmian zawartości pierwiastków. Wskaźnik ${}^2/1$ wyjaśnia zmiany w okresie stresu po wysadzeniu, wskaźnik ${}^4/2$ – zmiany w okresie formowania się zespołów mikoryz, a wskaźnik ${}^4/1$ – zmiany w okresie adaptacji sadzonki do warunków uprawy. Obliczono również relacje między zawartością badanych pierwiastków w igłach sosen niemikoryzowanych i mikoryzowanych w kolejnych latach wzrostu. Wyniki są dyskutowane w odniesieniu do struktury mikoryz u badanych sadzonek [Hilszczańska i in. 2008]. Zastosowano także wskaźnik wykorzystania pierwiastka (WWP=Pigły/Pgleba) jako miarę względną, relatywizującą potencjalną dostępność danego pierwiastka obecnego w glebie w momencie założenia uprawy (sadzonki jednoroczne z i bez mikoryzy *T. terrestris*) względem jego udziału w igłach. Oceniano wartość tego wskaźnika po roku (sadzonki 2-letnie) i po 3 latach (sadzonki 4-letnie) wzrostu drzewek w glebie porolnej. Do porównania wartości wskaźnika WWP w igłach sosen mikoryzowanych względem sosen niemikoryzowanych po roku oraz po 3 latach wzrostu w uprawie wyliczono $WWP_{4/2}$ jako iloraz wartości obliczonych dla wskaźników wykorzystania pierwiastków w 4. i 2. roku życia sadzonek.

Wyniki

ZMIANY ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW W IGLACH. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między analizowanymi wariantami w zawartości azotu w igłach (tab. 1). Obserwowano jednak istotny spadek zawartości tego pierwiastka wraz z upływem czasu. W okresie stresu u sadzonek niemikoryzowanych nastąpił spadek zawartości azotu średnio o 17,63%, podczas gdy u mikory-

Tabela 1.

Całkowita zawartość analizowanych pierwiastków [g/kg s.m.] w igłach niemikoryzowanych (I) i mikoryzowanych (II) sosen w kolejnych latach wzrostu

Total content of analysed nutrients [g/kg dry weight] in needles of non-mycorrhized (I) and mycorrhized (II) Scots pines during four years of growth

Wiek sadzonek [lata]	N		P		K		Ca		Mg	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	23,2a	22,3a	2,19a	2,38a	6,98a	14,50a	4,48a	5,56a	2,61a	2,89a
2	19,0b	19,2b	2,43a	2,14a	9,63a	7,06b	3,96a	5,18a	1,51b*	2,61a*
4	13,7c	12,4c	1,79a	1,56a	5,70a	5,22b	3,04a	3,71a	0,90b	0,91b

Te same litery w kolumnach wskazują na brak istotnej statystycznie różnicy w zawartości pierwiastka w kolejnych latach zgodnie z testem HSD ($p < 0,05$) i ANOVA; the same letters within a column indicate insignificant difference between content of a given nutrient over time according to HSD ($p < 0,05$) and ANOVA

* Istotna statystycznie różnica między zabiegami; significant difference between treatments

zowanych o 13,96%. Znacznie większe różnice wystąpiły między sadzonkami pierwotnie bez mikoryzy a mikoryzowanymi w okresie formowania się zespołu grzybów tworzących mikoryzy – różnice w zawartości azotu pomiędzy 4. a 2. rokiem wzrostu wynosiły odpowiednio 27,92% oraz 34,94%. Przyjmując relacje w zawartości azotu pomiędzy 4. a 1. rokiem wzrostu sadzonek jako wskaźnik zmian w okresie ich adaptacji do warunków gleby rolniczej, uzyskane różnice między obydwoma wariantami oceny okazały się zbliżone i wynosiły odpowiednio 41,01 i 44,01%. Wartości te oznaczają, że po 4 latach wzrostu w uprawie zawartość azotu w igłach sosen w przeliczeniu na 1 g suchej masy zmniejsza się średnio o około 40% z 22-24 do 12-15 g/kg.

Po przesadzeniu siewek pozbawionych mikoryzy do gleby porolnej zawartość fosforu w igłach wzrosła średnio o 15,47%, aby w okresie kolejnych lat zmniejszyć się o 24,69% (tab. 1). Porównanie zawartości tego pierwiastka między sadzonkami czteroletnimi a rocznymi wskazuje, że w okresie adaptacji następuje ubytek fosforu średnio o 17,38%. Z kolei u sadzonek zaopatrzonych w mikoryzy *T. terrestris* po 1. roku wzrostu w glebie nastąpiło zmniejszenie zawartości fosforu o 10,62%, a po 4 latach o dalsze 22,72% (tab. 1). Ocena wskaźnikowa okresu adaptacji wskazuje, że zmniejszenie zawartości fosforu w igłach sięga 34,27%, czyli dwukrotnie więcej niż w igłach sadzonek niemikoryzowanych (tab. 2). Uzyskane wyniki wskazują, że obecność mikoryzy *T. terrestris* w korzeniach siewek w większym stopniu wpływa na zmiany zawartości fosforu w igłach sadzonek w kolejnych latach niż w przypadku sadzonek pierwotnie pozbawionych mikoryzy, które w okresie adaptacji muszą wytworzyć właściwy sobie skład zbiorowiska.

Po przesadzeniu sadzonek do gleby porolnej zawartość potasu zmniejszyła się w obydwu wariantach doświadczenia, jednak u sadzonek pozbawionych mikoryzy o 19,39%, podczas gdy u sadzonek mikoryzowanych aż o 51,74% (tab. 1). W 4. roku życia (3. rok w glebie porolnej) udział tego pierwiastka zmniejszył się o dalsze 40,77% u sadzonek pierwotnie bez mikoryzy i tylko o 25,18% u sadzonek mikoryzowanych. Porównanie zmian w okresie adaptacji wskazuje, że udział tego pierwiastka był w obydwu wariantach wyrównany, jednak mniejszy o 52,24% w stosunku do zawartości w jednorocznych igłach sadzonek pierwotnie bez mikoryzy oraz o 64,27% u sadzonek mikoryzowanych sztucznie (tab. 2).

U sadzonek pozbawionych wyjściowo mikoryzy zmiany zawartości wapnia w igłach w kolejnych latach oceny były nieznaczne. Zmniejszyła się on odpowiednio o 12,57% po 2 latach (wskaźnik $^{2}/_{1}$) i o dalsze 19,60% po 4 latach (wskaźnik $^{4}/_{2}$). Ocena zmian w okresie adaptacji (wskaźnik $^{4}/_{1}$) tej grupy sadzonek wyraziła się zmniejszeniem zawartości wapnia o 31,93%. Z kolei w grupie sadzonek pierwotnie inokulowanych *T. terrestris* w okresie formowania się zespołu mikoryzy (pierwszy rok w uprawie) nastąpił wzrost zawartości wapnia w igłach sadzonek o 84,38%, a następnie, po dalszych dwóch latach, zmniejszenie o 62,96% (tab. 2). Zmiany w okresie adaptacji oznaczały w tej grupie drzew spadek zawartości wapnia w igłach średnio o 33,0%, a więc na podobnym poziomie jak u sadzonek niemikoryzowanych, mimo różnic wynikających ze zmiany składu zbiorowiska w okresie jego formowania się.

Zawartość magnezu w igłach u sadzonek pozbawionych mikoryzy zmniejszyła się po roku od wysadzenia do gleby o 41,90%, podczas gdy u sadzonek mikoryzowanych tylko o 9,22% (tab. 1). Po 4 latach w wariantcie bez mikoryzy nastąpiło dalsze zmniejszenie zawartości magnezu w igłach o 36,75%, natomiast u sadzonek pierwotnie mikoryzowanych aż o 65,28%. Efekt adaptacji sadzonek wyraził się zmniejszeniem zawartości magnezu w igłach z obydwu wariantów o 63,79% u sadzonek niemikoryzowanych i o 68,43% u sadzonek mikoryzowanych (tab. 2).

RELACJE MIĘDZY ZAWARTOŚCIĄ PIERWIASTKÓW W IGŁACH. Po roku wzrostu sadzonek w uprawie (stres po wysadzeniu, konkurencja z grzybami lokalnej populacji) wpływ braku jakichkolwiek mikoryzy w korzeniach wyraził się dwukrotnie większą wartością wskaźnika N:K w igłach w sto-

Tabela 2.

Wskaźniki zmian zawartości [g/kg s.m.] pierwiastków w igłach niemikoryzowanych (I) i mikoryzowanych (II) sosen w juvenilnym okresie ich wzrostu

Indices of changes in the content of analysed nutrients [g/kg dry weight] in needles of non-mycorrhized (I) and mycorrhized (II) Scots pines in juvenile phase of their growth

	N		P		K		Ca		Mg	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
² / ₁	71,5a	68,1a	99,9a	82,3a	64,0a*	44,0a*	77,4a*	166,10a*	49,72a*	75,84a*
⁴ / ₂	58,2a	53,7a	61,5a	63,3a	50,3b*	61,4b*	66,3a*	37,44b*	53,58a	36,09b*
⁴ / ₁	50,1a	48,4a	65,7a	54,1a	43,7b	36,6a	55,6a	55,01b	36,28a*	34,70b

²/₁ – stres po wysadzeniu; ⁴/₂ – tworzenie się mikoryz; ⁴/₁ – adaptacja do nowych stanowisk; oznaczenia jak w tabeli 1

²/₁ – stress after replanting; ⁴/₂ – formation of mycorrhiza communities; ⁴/₁ – adaptation to new site; denotes as in table 1

Tabela 3.

Relacje między zawartością badanych pierwiastków w igłach niemikoryzowanych (I) i mikoryzowanych (II) sosen w kolejnych latach wzrostu

Ratios of the content of analysed nutrients in needles of non-mycorrhized (I) and mycorrhized (II) Scots pines during four years of growth

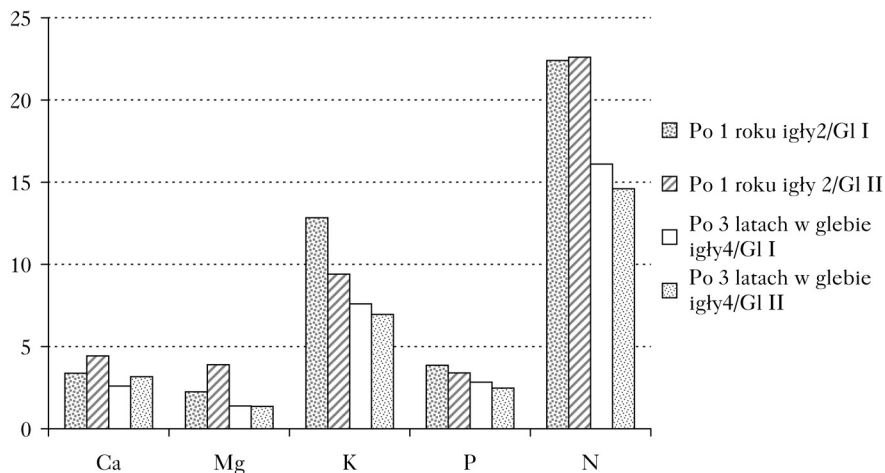
	Sosna 1-rocznia		Sosna 2-letnia		Sosna 4-letnia	
	I	II	I	II	I	II
N:P	10,0	9,4	7,9	9,0	7,7	8,0
N:K	3,3	1,5	2,1	2,7	2,4	2,4
N:Ca	5,2	4,0	4,8	3,7	4,5	3,4
N:Mg	8,9	7,7	12,6	7,4	14,7	13,7
K:Ca	1,6	2,6	2,4	1,4	1,9	1,4
K:Mg	2,7	5,1	6,4	2,7	6,1	5,7
Ca:Mg	1,7	1,9	2,6	2,0	3,3	4,1

sunku do sadzonek mikoryzowanych *T. terrestris* (tab. 3). Z kolei zwiększony w tym samym okresie pobór magnezu wyraził się również wyższą wartością wskaźnika K:Mg w igłach sadzonek mikoryzowanych. W przypadku pozostałych wskaźników nie stwierdzono istotnych różnic między ich wartościami dla obydwu wariantów. W drugim roku uprawy (okres formowania się zbiorowisk mikoryz w obydwu wariantach) interesujące okazały się relacje między azotem i magnezem, przy czym znacznie wyższa wartość tego wskaźnika wystąpiła w wariantcie I. Podobny charakter miały relacje wskaźnika K:Mg (tab. 3). Po 3 latach wzrostu nastąpiła adaptacja sadzonek do nowych warunków wzrostu, a aktywność grzybów tworzących zbiorowiska ustabilizowała się, co wyraziło się wyrównanymi wartościami analizowanych wskaźników dla obydwu wariantów.

WSKAŹNIK WYKORZYSTANIA PIERWIASTKÓW. Po roku wzrostu w uprawie sadzonki mikoryzowane cechowała większa niż u sadzonek niemikoryzowanych wartość wskaźnika WWP w przypadku wapnia i magnezu, natomiast niższa w przypadku potasu oraz nieznacznie fosforu. Mikoryzowane sadzonki 4-letnie nadal cechowała większa wartość wskaźnika dla wapnia i niższa niż sadzonki niemikoryzowane, wartość WWP dla potasu oraz azotu. W grupie sadzonek niemikoryzowanych trzyletni okres wzrostu w uprawie wyraził się dość istotnie zmniejszoną zawartością wskaźnika WWP w przypadku potasu i azotu, natomiast u sadzonek mikoryzowanych w przypadku magnezu i azotu (ryc. 1).

Porównanie wartości wskaźnika WWP ocenianych pierwiastków obecnych w igłach sosen mikoryzowanych względem sosen niemikoryzowanych po roku oraz 3 latach wzrostu (WWP_{4/2})

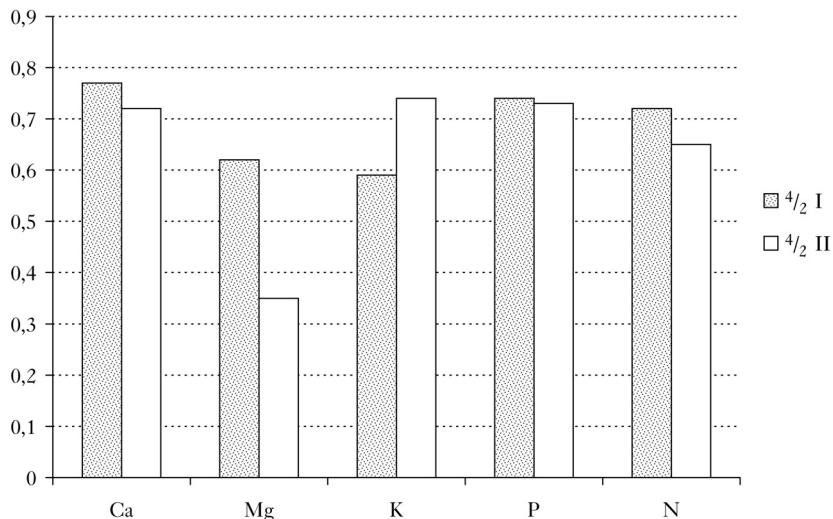
w uprawie wskazuje, że tempo pobierania wapnia było zbliżone, choć nieco większe u sadzonek niemikoryzowanych, magnezu – niemal dwukrotnie większe u sadzonek z wariantu bez wyjściowej mikoryzy, fosforu – zbliżone w obydwu wariantach, a azotu – podobne, nieznacznie większe u sadzonek bez mikoryzy. Jedynie w przypadku potasu tempo pobierania tego pierwiastka z gleby było większe u sadzonek w wariantcie z mikoryzą niż bez niej (ryc. 2).



Ryc. 1.

Wartości WWP analizowanych pierwiastków w igłach niemikoryzowanych (I) i mikoryzowanych (II) sosen po 1 i 3 latach wzrostu

Nutrient Utilisation Index (WWP) of analysed nutrients in needles of non-mycorrhized (I) and mycorrhized (II) Scots pines after 1 and 3 years of growth



Ryc. 2.

Wskaźniki zmian zawartości pierwiastków w igłach 2- i 4-letnich niemikoryzowanych (I) i mikoryzowanych (II) sosen

Index of changes in the content of analysed nutrients in needles of 2- and 4-years-old non-mycorrhized (I) and mycorrhized (II) Scots pines

Dyskusja

Jak wynika z prezentowanych analiz, niezależnie od zmian zachodzących w zbiorowiskach grzybów zasiedlających korzenie autotroficzne bez mikoryz (warian: sadzonki niemikoryzowane) oraz zmian zachodzących w wyniku formowania się składu zbiorowiska tworzonego pierwotnie przez *T. terrestris* (sadzonki mikoryzowane), zawartość analizowanych w igłach sosen pierwiastków – za wyjątkiem fosforu – przyjmowała podobny poziom. Po 3 latach wzrostu w glebie porolnej (sadzonki 4-letnie) zawartość wapnia w igłach sadzonek zmniejszyła się średnio o 32-33%, azotu o 41-44%, potasu o 52-64%, a magnezu o 65-68%. Jedynie w przypadku fosforu stwierdzono wyraźne różnice pomiędzy badanymi wariantami. Brak mikoryz w pierwszym roku wzrostu siewek po 3 latach wyraził się nieznacznym zmniejszeniem zawartości tego pierwiastka (o 17%), natomiast obecność mikoryz *T. terrestris* i późniejsze zmiany w składzie zbiorowiska spowodowały zmniejszenie zawartości fosforu w igłach nawet o 34%. Z punktu widzenia odżywiania mineralnego sadzonek największe po 3 latach wzrostu w uprawie zmiany *in minus* wystąpiły w przypadku potasu i magnezu (2-3-krotny spadek zawartości tych pierwiastków w porównaniu do igieł siewek jednorocznych). Może to wynikać z faktu, że potas jest pierwiastkiem szczególnie łatwo przechodzącym z korony drzew do dna lasu [Hyvärinen 1990], a jego obieg między głębą a rośliną jest bardzo szybki. Jednakże relacje zawartości pierwiastków w igłach sosen były prawidłowe (tab. 3), tzn. nie stwierdzono niedoboru żadnego z badanych pierwiastków [Brockley 2001]. Taki stan po raz kolejny potwierdza dobrą adaptację sosny zwyczajnej do ubogich siedlisk charakteryzujących się małą dostępnością składników pokarmowych [Merilä, Derome 2008].

Dany pierwiastek obecny w glebie w formie przyswajalnej dla roślin był pobierany przez grzybnię komponenta grzybowego mikoryzy i wykorzystany przez sadzonkę, akumulując się także w analizowanych tu igłach, i/lub przez komponenta grzybowego bezpośrednio w jego procesach metabolicznych. Relacje między wartościami wyliczonych wskaźników WWP mogą być przydatne w wykazaniu zróżnicowania i intensywności pobierania określonych pierwiastków przez korzenie drzew o odmiennym składzie ilościowym i jakościowym zbiorowisk grzybów mikoryzowych. Przyjmuje się bowiem, że zmiany w gospodarce mineralnej roślin-gospodarzy pozostają w bezpośrednim związku z strukturą zbiorowiska mikoryz. Chociaż około 30% produktów fotosyntezy odprowadzane jest do grzybni mikoryzowej [Harley 1989], to nie wszystkie gatunki ektomikoryzowe mają jednakowe zapotrzebowanie na cukier i tolerancję względem azotu. Wysoka zawartość tego pierwiastka w podłożu ogranicza ilość węglowodanów dostarczanych do grzybni mikoryzowej, a wtedy gatunki takie jak np. *Amanita pantherina* czy *Inocybe dulcamera* mają ograniczony rozwój, stają się mniej konkurencyjne i są łatwo zastępowane przez gatunki o niższych wymaganiach pokarmowych [Eaton, Awers 2002]. U badanych sadzonek sosny mikoryzy tworzone były przede wszystkim przez grzyby określane, jako „grzyby stadium wczesnego” i „grzyby uniwersalne”, charakteryzujące się stosunkowo szybkim wzrostem i względnie niskimi wymaganiami żywieniowymi.

W celu lepszej interpretacji prezentowanych powyżej wyników należy przypomnieć, że w korzeniach sadzonek niemikoryzowanych już po 1. roku wzrostu w glebie porolnej w zbiorowisku występowały: *Hebeloma* 60,5% i *Suillus* 17% [Hilszczańska i in. 2008]. Udział autochtonicznej *T. terrestris* wynosił 13%, natomiast *Rhizopogon* stanowił 4,5%, a *Cenococcum* – 1% składu zbiorowiska. Po 3 latach wzrostu nastąpiły istotne zmiany ilościowe i jakościowe. Dominowała *T. terrestris* (63,5%), a udział *Suillus*, *Rhizopogon* i *Telephoraceae* był zbliżony i wynosił odpowiednio 12,0, 11,5 i 9,0%. Nie stwierdzono obecności *Hebeloma* i *Cenococcum*. Największe zmiany

w tym wariantcie w okresie kolejnych ocen nastąpiły zatem w przypadku spadku udziału *Hebeloma* i równocześnie wzrostu udziału *T. terrestris*.

W korzeniach sadzonek mikoryzowanych udział *T. terrestris* był w kolejnych latach oceny zbliżony i wynosił odpowiednio 52,5 i 55,0%. Podobna obserwacja dotyczy udziału *Suillus* – 10,0 i 14,0%. Po 3 latach nie stwierdzono mikoryz tworzonych przez *Hebeloma* (zmniejszenie z 25% do 0) i równocześnie wzrost udziału *Rhizopogon* z 6,5 do 20,0%. Udział *T. terrestris* w korzeniach sadzonek pierwotnie bez mikoryz oraz mikoryzowanych był zbliżony (63,5 i 55%), podobnie jak pozostałych rodzajów grzybów. Jedynie udział *Rhizopogon* w korzeniach sadzonek niemikoryzowanych był niemal dwukrotnie mniejszy (11,5%) niż u sadzonek mikoryzowanych (20,0%).

Za istotnie wyższą zawartość Mg w igłach sadzonek mikoryzowanych w drugim sezonie wegetacyjnym może odpowiadać duży udział mikoryz *T. terrestris*. Ten wszędobylski gatunek ma bowiem zdolności do pobierania składników pokarmowych i przekazywania ich roślinie [Letho 1992]. Koele i in. [2009] badając m.in. pobieranie składników pokarmowych przez sadzonki sosny zwyczajnej wykazali, że *Scleroderma citrinum*, symbiont o charakterze wszędobylskim, miał największy wpływ na wzrost całkowitej zawartości magnezu wyliczoną na podstawie pobieranych i wydatkowanych przez roślinę ilości danego pierwiastka. Z kolei wzrost zawartości wapnia w igłach sosen mikoryzowanych mógł być do pewnego stopnia regulowany obecnością mikoryz *Hebeloma* spp. Jak podają Dosskey i in. [1990], u sadzonek dąglezji inokulowanych *H. crustuliniforme* po 6 miesiącach wzrostu odnotowano wyższą zawartość tego pierwiastka niż u sadzonek niemikoryzowanych. Wraz z wzrostem zawartości wapnia autorzy odnotowali także wzrost N, P i K. Dosskey i in. [1990] podają także, że gatunki *Rhizopogon vinicolor* i *Laccaria laccata* nie miały istotnego wpływ na zawartość N, P, K i Ca w igłach dąglezji. Zupełnie odmienne wyniki w odniesieniu do zawartości Ca w igłach sosny zwyczajnej uzyskali Hobbie i in. [2009] wykazując, że niemikoryzowane sadzonki charakteryzowały się o 30% wyższą zawartością wapnia niż mikoryzowane.

Niespójne wyniki, mimo zbliżonej struktury mikoryz, mogą wynikać z różnego przedziału czasowego prowadzonych obserwacji. W niniejszym doświadczeniu wpływ warunków środowiskowych, a zwłaszcza temperatury i wilgotności w kolejnych latach wzrostu sadzonek, wydaje się w większym stopniu odpowiadać za zróżnicowaną zawartość pierwiastków w igłach sadzonek niż zmiany zachodzące w strukturze mikoryz, zwłaszcza w przypadku wzrastającej z wiekiem obecności *T. terrestris* w zbiorowiskach obydwu badanych wariantów.

Uzyskane wyniki odnoszące się jedynie do opisywanego doświadczenia wskazują, że niezależnie od stanu zmikoryzowania sadzonek w momencie umieszczania ich w glebie, ukształtowany po 1. roku wzrostu skład zbiorowisk już po 3 latach ulega daleko idącym zmianom, w kierunku pewnej stabilizacji. Uzyskane wyniki dotyczące zarówno zawartości pierwiastków odżywczych w igłach, jak i składu zbiorowisk grzybów mikoryzowych w korzeniach w zasadzie nie różnicują obydwu wariantów. Nie ulega wątpliwości, że okres 1-3 lat wzrostu sadzonek w uprawie w glebie porolnej jest decydujący dla ich wzrostu i kondycji zdrowotnej.

Podziękowania

Autorzy dziękują kierownictwu i pracownikom Nadleśnictwa Jabłonna za okazaną pomoc w trakcie realizacji projektu.

Literatura

- Agerer R. 2001. Exploration types of ectomycorrhizae. Mycorrhiza 11 (2): 107-114.
 Brockley R. 2001. Foliar sampling guidelines and nutrient interpretative criteria for lodgepole pine. 52 Extension Note, March 2001. B.C. Ministry of Forest. Kalamalka Forestry Centr. 3401 Reservoir Road. Vernon, BC V1B 2C7.

- Colpaert J. V., Van Assche J. A., Luijters K. 1992. The growth of the extramatrical mycelium of ectomycorrhizal fungi and the growth response of *Pinus sylvestris* L. *New Phytol.* 120: 127-135.
- Dell B., Malajczuk N., Bougher N. L., Thomson G. 1994. Development and function of *Pisolithus* and *Scleroderma* ectomycorrhizas formed *in vivo* with *Allocasuarina*, *Casuarina* and *Eucalyptus*. *Mycorrhiza* 5 (2): 129-138.
- Dosskey M. G., Linderman R. G., Boersma L. 1990. Carbon-sink stimulation of photosynthesis in Douglas fir seedlings by some ectomycorrhizas. *New Phytol.* 115: 269-274.
- Eaton G. K., Ayres M. P. 2002. Plasticity and constrain in growth and protein mineralization of ectomycorrhizal fungi under simulated nitrogen deposition. *Mycologia* 94 (6): 921-932.
- Harley J. L. 1989. The significance of mycorrhiza. *Mycological Research* 92: 129-139.
- Hilszczańska D. 2009. Wpływ azotu na cechy biometryczne oraz zawartość tego pierwiastka w siewkach sosny zwyczajnej z mikoryzą *Thelephora terrestris*. *Leśne Prace Badawcze* 70 (1): 19-25.
- Hilszczańska D. 2005. Wpływ deszczowania siewek *Pinus sylvestris* L. na zmiany w zbiorowisku grzybów mikoryzowych i glebowych. *Leśne Prace Badawcze* 4: 103-113.
- Hilszczańska D. 2010. *Thelephora terrestris* (Ehrh.) Fr. in development of Scots pine outplanted on post-agricultural land. *Phytopathology* 57: 49-51.
- 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).
- Hilszczańska D., Sierota Z. 2005. Chemical composition of soil and ectomycorrhizal community structure in nursery as effect of watering. W: Pierzgalski E., Niemtur S., Czerepko J. [red.]. *Protection of soil and water resources in forestry areas*. Forest Research Institute, Warsaw. 57-63.
- Hilszczańska D., Sierota Z. 2006a. Wpływ inokulum mikoryzowego grzyba *Thelephora terrestris* na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. I. Badania laboratoryjne. *Sylvan* 150 (1): 40-47.
- Hilszczańska D., Sierota Z. 2006b. Wpływ inokulum mikoryzowego grzyba *Thelephora terrestris* na wzrost sadzonek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. II. Badania terenowe. *Sylvan* 150 (2): 20-28.
- Hobbie E. A., Hoff C. J., Bryce J. G., Colpaert J. V., Hallett R. A. 2009. Nutrient supply rate and mycorrhizal colonization control patterns of element distribution in ectomycorrhizal pine. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 40 (21-22): 3503-3523.
- Hyvärinen A. 1990. Deposition on forest soils –effect of tree canopy on throughfall. W: Kauppi P., Anttila P., Kenttämies K. [red.]. *Acidification in Finland*, Springer Verlag, Berlin.199-213.
- Jones M. D., Durall D. M., Linker P. B. 1990. Phosphorus relationships and production of extramatrical hyphae by two types of willow ectomycorrhizas at different soil phosphorus levels. *New Phytol.* 115: 259-267.
- Koele N., Turpault M.P., Hildebrand E. E., Uroz S., Frey-Klett P. 2009. Interactions between mycorrhizal fungi and mycorrhizosphere bacteria during mineral weathering: Budget analysis and bacterial quantification. *Soil Biol. Biochem.* 41 (9): 1935-1942.
- Kowalski S. 1997. Praktyczne aspekty mikrotrofizmu w szkółkach leśnych. *Sylvan* 141 (6): 5-15.
- Merilä P., Derome J. 2008. Relationships between needle nutrient composition in Scots pine and Norway spruce stands and the respective concentrations in the organic layer and in percolation water. *Boreal Environment Research* 13:35-47.
- Read D. J. 1992. The mycorrhizal mycelium. W: Allen M. F. [red.]. *Mycorrhizal function*. Chapman and Hall, New York. 102-132.
- Rousseau J. V. D., Reid C. C. P., English R. J. 1992. Relationship between biomass of the mycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius* and phosphorus uptake in loblolly pine seedlings. *Soil Biol. Biochem.* 24: 183-184.
- 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.
- Schramm J. R. 1966. Plant colonization studies on block wastes from anthracite mining in Pennsylvania. *Trans. Am. Philos. Soc.* 56:1-189.
- Sierota Z., Hilszczańska D. 2009. Struktura ektomikoryzy i parametry biometryczne sosny po wysadzeniu na gruncie porolnym. *Sylvan* 153 (2): 108-116.
- Simard S. W., Jones M. D., Durall D. M., 2002. Carbon and nutrient fluxes within and between mycorrhizal plants. W: Heijden M. G. A., Sanders I. R. [red.]. *Mycorrhizal Ecology*. Springer, Berlin- Heidelberg-New York. 34-61.
- Thomson B. D., Grove T. S., Malajczuk N., Hardy G. E. S. 1994. The effectiveness of ectomycorrhizal fungi increasing the growth of *Eucalyptus globulus* Labill. in relation to root colonization and hyphal development in soil. *New Phytol.* 126: 517-524.
- Unestam T., Sun Y. P. 1995. Extramatrical structures of hydrophobic and hydrophilic ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 301-311.

SUMMARY

Content of mineral nutrients in Scots pine seedlings inoculated with *Thelephora terrestris*

In plant metabolism mineral nutrients play an essential role. Knowledge about nutrient requirements of plants and factors affecting their availability in the soil is crucial for understanding the functioning of forest ecosystems. Generally, uptake of nutrients is mediated, i.e. by diffusion along concentration gradients between the nutrient sources (e.g. soil-mycorrhiza-root interfaces) and sinks (e. g. meristems).

In the paper we present changes in concentrations of some nutrients, such as: N, P, K, Ca and Mg in Scots pine needles over 4 years of the experiment. Initially, seedlings were growing for one season in the greenhouse using two experimental treatments: seedlings mycorrhized with the fungus *Thelephora terrestris* and non-mycorrhized seedlings. In both treatments application of nitrogen was at rate 0.03 g N/seedling.

One-year-old seedlings were then outplanted into former agricultural land. Changes of macronutrients concentrations were statistically significant only for Mg in the case of mycorrhized seedlings after second growing season (tab. 1). N and K concentration differed between years for mycorrhizal and non-mycorrhizal seedlings while P and Ca concentrations differences were found statistically significant neither for treatments nor years.

The use of the inoculum of the fungus *Thelephora terrestris* had no distinctive effect on the uptake improvement given nutrients with the exception of Ca. In both treatments concentration of nutrients was at optimal level for seedlings' growth. It suggests environmental conditions (moisture, temperature) as well as plant metabolism may regulate the nutrient concentration in the needles more strongly than ectomycorrhizal symbionts.