

TOMASZ KUC, MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA

Sterowana mikoryzacja i doglebowa aplikacja fungicydów w hodowli dębu szypułkowego. I. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółce*

Artificial mycorrhization and soil application of fungicides to pedunculate oak seedlings. I. Mycorrhizal colonization and growth of container-grown seedlings in the nursery

ABSTRACT

Kuc T., Aleksandrowicz-Trzczińska M. 2012. Sterowana mikoryzacja i doglebowa aplikacja fungicydów w hodowli dębu szypułkowego. I. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółce. Sylwan 156 (10): 765-775.

The aim of the study was to examine the level of mycorrhizal colonization and annual growth of oak seedlings, grown in two peat-vermiculite substrates mycorrhized and not mycorrhized with the vegetative inoculum of *Hebeloma crustuliniforme* after soil application of the fungicides Siarkol Extra 80 WP and Falcon 460 EC. The fungicides were applied at a single dose (i.e. equivalent to the amount of the fungicide that a seedling potentially receivable by a seedling in foliar application recommended for oak protection in forest nurseries), a double dose and a triple dose.

KEY WORDS

fungicides, *Hebeloma crustuliniforme*, mycorrhiza, *Quercus robur*, shoot-to-root ratio

ADDRESSES

Tomasz Kuc – e-mail: tomasz.kuc@radom.lasy.gov.pl

Marta Aleksandrowicz-Trzczińska – e-mail: marta_aleksandrowicz_trzczińska@sggw.pl

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii; SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

Wstęp

W Polsce od przeszło 10 lat produkowany jest na skalę gospodarczą mikoryzowany materiał sadzeniowy. Jedną ze stosowanych technologii jest opracowana przez profesora Stefana Kowalskiego sterowana mikoryzacja wykorzystująca grzybnię wegetatywną *Hebeloma crustuliniforme* [Berft 2000]. Chociaż siewki i sadzonki zaopatrzone w dobrze wykształconą mikoryzę są bardziej odporne na choroby [Rudawska 2000], czasami zachodzi konieczność stosowania fungicydów również w ochronie sadzonek mikoryzowanych [Grzywacz 1993]. Dlatego też wdrażając polską technologię sterowanej mikoryzacji (PTSM), w szkółkach podjęto badania i obserwacje dotyczące wpływu fungicydów na mikoryzy ochraniających drzew, w tym również dębów [Kowalski 2006; Aleksandrowicz-Trzczińska 2007].

Dotychczas w aspekcie wpływu na ektomikoryzy zbadano trzy fungicydy: Falcon 460 EC, Nimrod 250 EC i Siarkol Extra 80 WP, stosowane dolistnie w ochronie dębów przed mączniakiem

* Badania zostały sfinansowane przez MNiSW w ramach projektu N 309 015 31/2245.

prawdziwym. Badania wykazały, że Falcon nie ogranicza zarówno spontanicznej, jak i sterowanej (z *H. crustuliniforme*) mikoryzacji, a w pewnych warunkach może nawet stymulować powstawanie mikoryz. Natomiast Siarkol i Nimrod nie hamują tworzenia mikoryz z *H. crustuliniforme*, ale mogą nieznacznie ograniczać mikoryzację spontaniczną [Kuc, Aleksandrowicz-Trzcińska 2012]. Obserwacje dotyczące wpływu Falconu prowadzono również w dziesięciu szkółkach leśnych podczas wdrażania PTSM z grzybem *H. crustuliniforme*. Fungicyd stosowano dolistnie w ochronie sosny, dębu i modrzewia. Aplikowano go jedno- lub dwukrotnie, naprzemiennie z innymi środkami. Wyjątek stanowiła szkółka Nadleśnictwa Łobez, gdzie ochronę dębu prowadzono wyłącznie z użyciem Falconu, wykonując pięć zabiegów. W większości szkółek, w tym w szkółce Nadleśnictwa Łobez, korzenie sadzonek zaopatrzone były w obfite i dobrze rozwinięte mikoryzy z grzybem *H. crustuliniforme* [Kowalski 2006; Aleksandrowicz-Trzcińska 2007]. Informacje o wpływie Siarkolu pochodzą ze szkółek leśnych, w których wdrażano PTSM opartą na grzybie *H. crustuliniforme*. Preparat ten stosowano w czterech szkółkach w ochronie sadzonek dębu przed mączniakiem prawdziwym. Środek aplikowano w stężeniu 0,5% lub 0,6%, wykonując od dwóch do nawet ośmiu zabiegów. W większości szkółek poziom zmikoryzowania dębu uznano za bardzo dobry [Kowalski 2006; Aleksandrowicz-Trzcińska 2007].

O wpływie fungicydów na grzyby mikoryzowe i mikoryzy decyduje wiele czynników, m.in. miejsce aplikacji środka i właściwości systemicznego przemieszczania się w roślinie. Zastosowanie fungicydu dolistnie w mniejszym stopniu negatywnie oddziałuje na mikoryzy niż aplikacja tego samego środka doglebowo. Właściwość systemicznego przemieszczania się fungicydów w roślinie wydaje się nie mieć istotnego wpływu na formowanie się mikoryz [Trappe i in. 1984]. Inne zdania są Marx i in. [1986], którzy udowodnili, że zawartość substancji czynnych fungicydów w różnych organach rośliny, w tym również w korzeniach, utrzymywała się przez długi czas na tak wysokim poziomie, że była przyczyną inhibowania tworzenia mikoryz.

Do prowadzonych przez nas badań wybrano dwa fungicydy, różniące się zachowaniem substancji czynnej po aplikacji. Falcon 460 EC jest fungicydem systemicznym, przemieszczającym się w tkankach rośliny poza miejsce naniesienia, natomiast Siarkol Extra 80 WP działa powierzchniowo (kontaktowo), tworząc na roślinie warstwę ochronną. Ponieważ dotychczas uzyskane wyniki wykazały jedynie nieznacznie ograniczający wpływ fungicydów na tworzenie i funkcjonowanie mikoryz u dębów, podjęto badania testujące doglebowe stosowanie środków, w dawkach zalecanych, ale również wyższych od zalecanych. Intencją takiego działania była próba określenia wpływu na mikoryzy zastosowanych preparatów o niekontrolowanym rozcieńczeniu dawki roboczej w roztworze glebowym. Jeżeli okazałoby się, że doglebowa aplikacja dawek wyższych od zalecanych nie powoduje zakłóceń w tworzeniu i rozwoju związków mikoryzowych, można będzie bez obaw zalecić badane środki do stosowania w ochronie, szczególnie sadzonek mikoryzowanych.

Celem badań była ocena wpływu Falconu i Siarkolu Extra, aplikowanych doglebowo w dawkach zalecanych oraz wyższych od zalecanych, na poziom kolonizacji mikoryzowej i wzrost jednorocznych sadzonek dębu szypułkowego.

Materiał i metody

Doświadczenie przeprowadzono na terenie Szkółkarskiego Ośrodka Szkoleniowego Leśnego Zakładu Doświadczalnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Rogowie. Badano jednoroczne sadzonki dębu szypułkowego, które hodowano w namiocie foliowym w kasetach V-370 (15 doniczek o pojemności 370 cm³ każda w kasecie). Podłożem do hodowli był sterylizowany parą wodną estoński torf sfagnowy. Charakteryzował się on 15% stopniem rozkładu i odczynem

około 4,5. Dodano do niego 30% wermikulitu i nawóz Osmocote typ Exact firmy Substrat w ilości 3,5 kg/m³. Do części podłoża hodowlanego dodano szczepionkę mikoryzową opartą na grzybni vegetatywnej *H. crustuliniforme* w ilości 3% objętości substratu. Do pozostałej części substratu nie dodano szczepionki mikoryzowej.

Do doświadczenia wybrano dwa fungicydy: Falcon 460 EC i Siarkol Extra 80 WP (tab. 1), które stosowano w trzech dawkach: pojedynczej (1×) podwójnej (2×) i potrójnej (3×). Dawka pojedyncza (0,5 ml środka) odpowiadała takiej ilości fungicydu, jaką potencjalnie otrzymuje sadzonka produkowana w kontenerach w wyniku jego dolistnego zastosowania. Fungicydy aplikowano pipetą automatyczną do podłoża w odległości około 1 cm od szyi korzeniowej. Wykonano 4 zabiegi: pierwszy w momencie rozwinięcia liści dębów, drugi w odstępie dwóch tygodni, a kolejne w odstępach trzytygodniowych. Doświadczenie założono w układzie czterech bloków losowych. Składało się ono z 14 wariantów (2 rodzaje podłoża, 2 fungicydy, każdy aplikowany w 3 dawkach i wariant kontrolny, na każdym z podłoży, bez stosowania fungicydów). Wariant w bloku reprezentowany był przez dwie kasety (30 siewek). W kasetach wysiano rodzimego pochodzenia nasiona dębu szypułkowego pozyskane z gospodarczego drzewostanu nasiennego (makroregion 512/6, mikroregion 661).

W końcu sezonu wegetacyjnego losowo pobrano po 10 sadzonek z wariantu w bloku, co daje po 40 sadzonek z wariantu i 560 dla całego doświadczenia. W czasie pobierania materiału badawczego oddzielano bryłkę korzeniową od strzałki i dokonywano pomiaru grubości w szyjce korzeniowej i długości pędu z pączkiem szczytowym. Po przewiezieniu do laboratorium i wysuszeniu części nadziemnej w temperaturze 105°C określono jej suchą masę. Bryłki korzeniowe pakowano osobno w folię aluminiową, oznaczano i przechowywano w temperaturze -18°C. Przed przystąpieniem do badań rozmrożone bryłki korzeniowe płukano na sitach. Poziom zmikoryzowania sadzonek [%] określono na próbie korzeni o łącznej długości 1 m, licząc wierzchołki mikoryzowe i autotroficzne. Morfotypy mikoryz identyfikowano, opierając się na ich cechach anatomicznych i morfologicznych [Agarer 1987-2006; Ingleby i in. 1990; Agarer, Rambold 2004-2007], a w szczególności na: grubości i kształcie mufki grzybniowej, jej barwie, występowaniu i formie grzybni absorpcyjnej i sznurów grzybniowych. Długość systemów korzeniowych określono na próbie 12 losowo wybranych korzeni dla wariantu (łącznie 168 korzeni). Systemy korzeniowe skanowano i poddawano analizie w programie WinRHIZO. Po wykonaniu wszystkich analiz korzeni suszono je w temperaturze 105°C i określano suchą masę. Obliczono stosunek suchej masy części nadziemnej do suchej masy korzeni. Iloraz ten wykorzystywany jest w praktyce leśnej jako wskaźnik wartości hodowlanej materiału sadzeniowego. Im wyższa wartość tej cechy, tym mniejsza jest wartość sadzonki [Barzdajn 1981; Gorzelak 1986]. Ponadto obliczono wskaźnik rozgałęzienia korzeni jako liczbę korzeni krótkich przypadających na 1 centymetr długości korzenia.

Tabela 1.

Charakterystyka fungicydów
Characterization of the fungicides

Nazwa handlowa preparatu	Zawartość substancji biologicznie czynnej w litrze środka	Klasa toksyczności	Producent
Falcon 460 EC	spiroksamina 250 g tebukonazol 167 g triadimenol 43 g	szkodliwy	Bayer CropScience AG – Niemcy
Siarkol Extra 80 WP	siarka 80%	sklasyfikowany jako pozostałe	Z. Ch. Organika-Sarzynna S.A. – Nowa Sarzynna

Przystępując do analiz statystycznych, na wstępie sprawdzono zgodność rozkładu poszczególnych parametrów z rozkładem normalnym przy wykorzystaniu testu normalności W Shapiro-Wilka. Następnie porównywano jednorodność wariancji badanych parametrów w kombinacjach doświadczalnych z zastosowaniem testu Levene'a. W przypadku, gdy rozkład testowanych parametrów nie różnił się istotnie od rozkładu normalnego oraz gdy wariancje porównywanych ze sobą wariantów badawczych były jednorodne, do testowania wartości średnich cech wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Jednocześnie, w przypadku stwierdzenia istotnych statystycznie różnic pomiędzy średnimi w analizie wariancji, użyto test RIR Tukeya (rozsądnej istotnej różnicy) do stwierdzenia, które średnie się różnią. Gdy zachodziła konieczność stosowania testów nieparametrycznych, do analizy różnic badanych cech w kombinacjach doświadczalnych wykorzystano test U Manna i Whitneya. Jako miary tendencji centralnej stosowano, podobnie jak w przypadku testów parametrycznych, średnią arytmetyczną, ze względu na mierzalny charakter testowanych danych. Cechy wyrażone w procentach (stopień zmikoryzowania korzeni, stopień zmikoryzowania korzeni grzybem *H. crustuliniforme*) poddano transformacji na wartości kątowe z wykorzystaniem wzoru Bliss'a, a następnie wykonano analizy statystyczne danych zgodnie z wyżej przedstawionym schematem postępowania.

Wyniki

Doglebowa aplikacja Falconu i Siarkolu w dawkach zalecanych i wyższych od zalecanych nie wpłynęła na parametry wzrostowe jednorocznych sadzonek dębu. Średnie wartości większości analizowanych cech nie różniły się istotnie statystycznie od wartości obliczonych dla wariantu kontrolnego (tab. 2 i 3). Wyjątek stanowi wskaźnik wartości hodowlanej, określony jako stosunek suchej masy części nadziemnej do suchej masy systemu korzeniowego. Wartość hodowlana dębów kontrolnych, nietraktowanych fungicydami, była najniższa, co przejawiało się największą wartością wskaźnika. Istotnie statystycznie lepszą wartością hodowlaną charakteryzowały się sadzonki mikoryzowane traktowane Falconem we wszystkich dawkach i Siarkolem w dawce pojedynczej ($p=0,0001$). Stosowanie doglebowe Falconu obniżało iloraz suchej masy części nadziemnej do podziemnej proporcjonalnie do zwiększania ilości cieczy roboczej w zabiegach: Falcon w dawce jednokrotnej – 1,27 ($p=0,0008$), dwukrotnej – 1,19 ($p=0,0001$), trzykrotnej – 1,11 ($p=0,0000$). U sadzonek niemikoryzowanych użycie Falconu istotnie podniosło wartość hodowlaną w stosunku do kontroli. Wskaźniki wynosiły 1,15 ($p=0,0010$) i 1,13 ($p=0,0006$) odpowiednio w dawce jednokrotnej i dwukrotnej (tab. 3).

Dodanie szczepionki mikoryzowej z grzybem *H. crustuliniforme* do podłoża nie wpłynęło na zróżnicowanie cech wzrostowych hodowanych na nim dębów (tab. 4). Wyjątek, podobnie jak w przypadku stosowania fungicydów, stanowi wielkość wskaźnika wartości hodowlanej. Dęby mikoryzowane charakteryzowały się istotnie lepszym ($p=0,0000$) wskaźnikiem wartości hodowlanej (mniejsza wartość liczbowa) od sadzonek niemikoryzowanych (tab. 4).

Na korzeniach sadzonek stwierdzono występowanie sześciu morfotypów mikoryz:

- mikoryzy z *H. crustuliniforme* – jasne z obfitą, białą grzybnią ekstramatrykalną,
- mikoryzy brunatne z gładką, grubą mufką (sporadycznie pojawiały się cienkie ciemne ryzomorfy),
- mikoryzy typu *Laccaria* – jasno-pomarańczowa mufka z krótkimi, jasnymi, mało obfitymi strzępkami grzybni ekstramatrykalnej (stwierdzono występowanie owocników *Laccaria laccata*),
- mikoryzy brunatne z cienką, gładką mufką,

Tabela 2.

Cechy biometryczne części nadziemnej mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek dębu traktowanych doglebowo fungicydami

Biometric parameters of the above-ground parts of mycorrhized and non-mycorrhized oak seedlings after soil application of fungicides

Wariant	Grubość w szyi korzeniowej [mm]		Długość pędu [mm]		Sucha masa części nadziemnej [g]	
	x	v%	x	v%	x	v%
Dęby mikoryzowane						
Kontrola	5,50 a	21,5	351 a	22,6	3,337 a	40,4
Falcon 1x	5,24 a	24,0	322 a	24,2	3,048 a	45,5
Falcon 2x	5,18 a	25,4	322 a	24,1	3,141 a	49,5
Falcon 3x	5,30 a	22,3	336 a	22,5	3,315 a	48,1
Siarkol 1x	5,44 a	22,6	340 a	25,8	3,382 a	47,3
Siarkol 2x	5,38 a	25,6	338 a	30,1	3,538 a	51,4
Siarkol 3x	5,79 a	18,3	375 a	22,1	4,044 a	33,1
Dęby niemikoryzowane						
Kontrola	5,50 a	22,6	367 a	21,9	3,486 a	50,6
Falcon 1x	5,56 a	25,2	356 a	26,9	3,462 a	49,4
Falcon 2x	5,11 a	22,2	322 a	24,7	2,882 a	41,4
Falcon 3x	5,23 a	21,7	359 a	21,8	3,281 a	41,1
Siarkol 1x	5,62 a	21,6	330 a	22,8	3,525 a	45,6
Siarkol 2x	5,66 a	20,0	344 a	22,6	3,564 a	40,8
Siarkol 3x	5,71 a	21,8	365 a	27,4	4,166 a	47,2

1x – pojedyncza dawka fungicydu; 2x – podwójna dawka fungicydu; 3x – potrójna dawka fungicydu; x – średnia; v% – współczynnik zmienności; ta sama litera w kolumnach dla wariantów oznacza wartości nieróżniące się statystycznie przy p<0,05

1x – single dose of the fungicide; 2x – double dose of the fungicide; 3x – triple dose of the fungicide; x – mean; v% – coefficient of variation; the same letter in columns for variants indicates no significant difference at p<0.05

- mikoryzy z *Cenococcum geophilum* – czarne z czarnymi sztywnymi strzępkami odrastającymi od powierzchni mufki,
- mikoryzy kremowe o klinowatym kształcie, z niezbyt grubą mufką i delikatną grzybnią ekstramatrykalną.

Średni poziom zmikoryzowania dębów poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji wynosił 76,5% i był istotnie wyższy ($p=0,0000$) w porównaniu ze stopniem zmikoryzowania sadzonek niepoddanych temu zabiegowi (62,4%). W obrębie obu podłoży nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w ogólnym zmikoryzowaniu dębów (dęby mikoryzowane – $p=0,2085$; ANOVA; dęby niemikoryzowane – $p=0,0311$; jednak test RIR Tukeya nie wykazał istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi wariantami doświadczalnymi) (ryc.). Średni udział korzeni z *H. crustuliniforme* u sadzonek inokulowanych wynosił 11,3%. Stosowanie Siarkolu we wszystkich dawkach wpłynęło na zwiększenie wartości tego parametru w stosunku do wariantu kontrolnego (8,8%): Siarkol w dawce pojedynczej – 15,3%, podwójnej – 10,3% i potrójnej – 15,6%. Falcon, za wyjątkiem dawki dwukrotnej, miał minimalnie ograniczający wpływ na inokulację zamierzoną. Analizy statystyczne nie wykazały istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi wariantami ($p=0,0722$) (ryc.).

Dyskusja

Duże znaczenie w aspekcie wpływu fungicydów na grzyby mikoryzowe i tworzenie mikoryz ma miejsce aplikacji. Zastosowanie fungicydu dolistnie oddziałuje w mniejszym stopniu negaty-

Tabela 3.

Cechy biometryczne korzeni i wskaźnik wartości hodowlanej mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek dębu traktowanych doglebowo fungicydami

Biometric parameters of roots and silvicultural value of one-year old oak seedlings after soil application of fungicides

Wariant	Długość systemu korzeniowego [cm]		Sucha masa korzeni [g]		Wskaźnik rozgałęzienia		Wskaźnik wartości hodowlanej	
	x	v%	x	v%	x	v%	x	v%
Dęby mikoryzowane								
Kontrola	1394,1 a	53,7	2,337 a	58,4	2,9 a	22,1	1,64 a	32,8
Falcon 1×	1670,0 a	32,3	2,988 a	64,4	2,7 a	24,3	1,27 bc	44,1
Falcon 2×	1715,5 a	34,9	3,353 a	65,3	2,8 a	18,6	1,19 c	42,6
Falcon 3×	1359,8 a	46,2	3,368 a	58,7	2,9 a	21,9	1,11 c	28,2
Siarkol 1×	1617,1 a	41,2	3,100 a	53,3	2,7 a	19,0	1,20 c	29,2
Siarkol 2×	1277,3 a	40,3	2,857 a	62,1	2,6 a	18,3	1,44 ab	37,1
Siarkol 3×	1545,5 a	33,2	3,291 a	54,3	2,9 a	21,6	1,49 ab	41,5
Dęby niemikoryzowane								
Kontrola	1559,3 ab	33,7	2,362 a	73,1	3,0 a	21,2	1,75 a	32,6
Falcon 1×	2205,8 a	34,7	3,334 a	56,7	2,8 a	18,2	1,15 b	28,5
Falcon 2×	1595,2 ab	54,6	3,102 a	54,1	2,8 a	20,7	1,13 b	40,9
Falcon 3×	1863,0 ab	42,6	2,873 a	56,5	2,9 a	21,9	1,31 ab	32,9
Siarkol 1×	1528,5 ab	19,9	2,880 a	61,1	2,9 a	20,6	1,44 ab	37,1
Siarkol 2×	1213,6 b	47,3	2,611 a	61,4	2,9 a	20,5	1,66 a	41,6
Siarkol 3×	1668,0 ab	43,0	2,881 a	58,6	2,8 a	16,4	1,73 a	71,3

Oznaczenia jak w tabeli 2; denotes as in table 2

Tabela 4.

Cechy biometryczne (średnia i współczynnik zmienności w nawiasie) mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek dębu

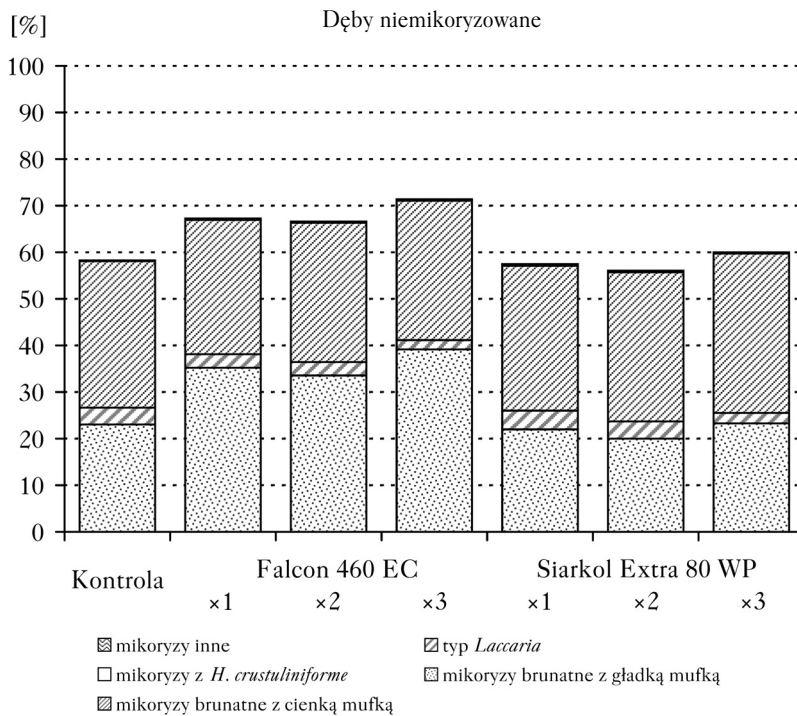
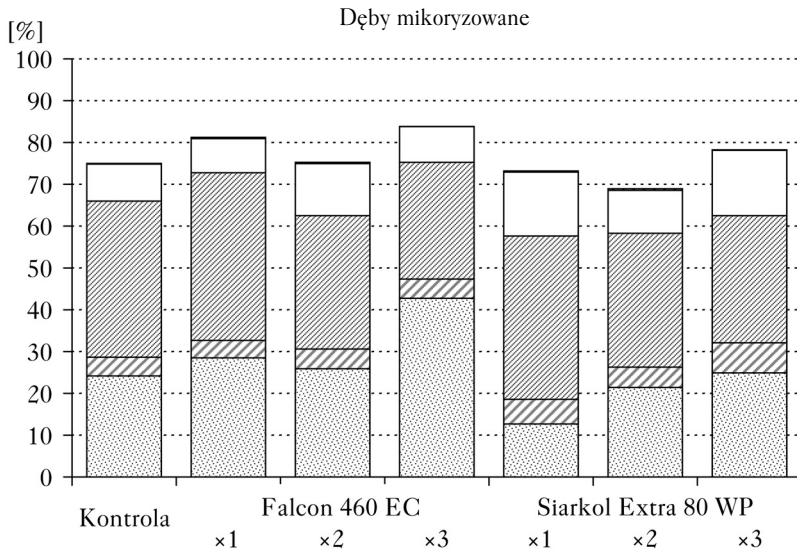
Biometric parameters (the mean and the variation coefficient in parenthesis) of mycorrhized and non-mycorrhized oak seedlings

Cecha	Mikoryzowane	Niemikoryzowane
Grubość w szyi korzeniowej [mm]	5,40 (22,8)	5,48 (22,3)
Długość pędu [mm]	340 (25,4)	349 (24,3)
Sucha masa części nadziemnej [g]	3,401 (45,4)	3,481 (46,5)
Długość systemu korzeniowego [cm]	1511,3 (40,0)	1661,9 (42,7)
Sucha masa korzeni [g]	3,042 (60,4)	2,863 (60,0)
Wskaźnik rozgałęzienia [szt./cm]	2,8 (21,3)	2,9 (20,0)
Wskaźnik wartości hodowlanej	1,34 (39,4)	1,45 (48,5)*

*różnica istotna statystycznie przy $p < 0,05$; significantly different at $p < 0,05$

wnie na mikoryzy niż użycie tego samego środka doglebowo [Trappe i in. 1984; Aleksandrowicz-Trzcńska 2007]. Stąd też podjęcie badań nad wpływem Falconu i Siarkolu zastosowanych doglebowo, mimo że w praktyce szkółkarskiej są one stosowane w ochronie dębu przed mączniakiem prawdziwym wyłącznie dolistnie.

Doglebowa stosowanie fungicydów bez względu na wielkość dawki nie miało wpływu na kształtowanie większości parametrów wzrostowych dębów. Wyjątek stanowi wartość hodowlana, oceniana jako stosunek suchej masy części nadziemnej do korzeni. Doglebowa aplikacja zarówno Falconu, jak i Siarkolu istotnie zmieniała proporcje budowy sadzonek. Wszystkie analizowane dawki obu środków powodowały nieco intensywniejszy rozwój systemów korzeniowych, wyraż-



Ryc.

Udział morfotypów mikoryz [%] u mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek dębu traktowanych doglebowo fungicydami

Share of mycorrhiza morphotypes [%] on mycorrhized and not-mycorrhized oak seedlings after soil application of fungicides

x1 – pojedyncza dawka fungicydu; x2 – podwójna dawka fungicydu; x3 – potrójna dawka fungicydu
 x1 – single dose of the fungicide; x2 – double dose of the fungicide; x3 – triple dose of the fungicide

nie widoczny szczególnie w wielkości ich suchej masy oraz nieco mniej intensywny rozwój części nadziemnej. Chociaż rozpatrując niezależnie od siebie parametry wzrostowe części nadziemnej i systemów korzeniowych nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie w porównaniu z wariantem kontrolnym, to wartość hodowlana sadzonek traktowanych doglebowo fungicydami jest istotnie lepsza (mniejsza wartość parametru) w porównaniu z dębami z wariantu kontrolnego. Zależności te są silniej zaznaczone u sadzonek mikoryzowanych i traktowanych Falconem niż u niemikoryzowanych i po aplikacji Siarkolu. Korzystne proporcje budowy dębów w wyniku doglebowej aplikacji fungicydów są najprawdopodobniej przejawem toksycznego wpływu obu środków na rośliny. Silniejsze rozbudowywanie systemów korzeniowych stwierdzano również u sadzonek rosnących w glebie skażonej w pobliżu hut metali nieżelaznych [Werner, Chojnacki 1994] i w wyniku stosowania fungicydu Dithane [Aleksandrowicz-Trzcńska 2002].

Produkcja materiału sadzeniowego w warunkach kontrolowanych prowadzi do ukształtowania mniej korzystnych proporcji budowy sadzonek w porównaniu ze szkółką otwartą [Barzdajn 1981; Gorzelak 1986; Sabor 1999]. Z reguły charakteryzują się one silniej rozbudowaną częścią nadziemną i słabszym systemem korzeniowym [Sobczak 1992; Banach 1999]. W tym aspekcie szczepienie grzybami mikoryzowymi sadzonek hodowanych w kontenerach istotnie poprawia proporcje ich budowy, powodując, że stosunek suchej masy części nadziemnej do suchej masy korzeni jest istotnie wyższy niż u sadzonek nieinokulowanych [Aleksandrowicz-Trzcńska 2002]. Uzyskane w prezentowanych badaniach wyniki potwierdzają powyższe tezy. Dęby inokulowane grzybem *H. crustuliniforme* charakteryzowały się istotnie wyższą wartością hodowlaną od nieinokulowanych.

Ilościowe i jakościowe zmikoryzowanie sadzonek może mieć wpływ na kształtowanie cech biometrycznych, szczególnie w pierwszych latach życia [Aleksandrowicz-Trzcńska 2002, 2004]. 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]. Przekazywanie przez roślinę gospodarza części produktów fotosyntezy partnerom grzybowym może powodować ograniczenie wzrostu roślin. Zjawisko to, w pierwszych latach życia drzew, należy traktować jako naturalny proces fizjologiczny. Wiele gatunków grzybów mikoryzowych, również tych, które wystąpiły w doświadczeniu (*L. laccata*, *H. crustuliniforme*), może powodować hamowanie wzrostu sadzonek [Stenström, Ek 1990; Hilszczańska 2001; Aleksandrowicz-Trzcńska 2002]. W przeprowadzonych badaniach zjawisko to nie miało miejsca. Dęby poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji były istotnie statystycznie lepiej zmikoryzowane, lecz nie różniły się wielkością cech biometrycznych od sadzonek niemikoryzowanych.

Zabieg sterowanej mikoryzacji szczepionką z grzybem *H. crustuliniforme* w prezentowanym doświadczeniu był nieudany. Wypełnienie wszystkich wymagań i wytycznych technologicznych, opracowanych dla technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych, a także zapewnienie optymalnych warunków hodowli w szkółce Leśnego Zakładu Doświadczanego SGGW w Rogowie, gdzie przeprowadzono badania, okazało się niemożliwe. Obecne doświadczenia leśników ze szkółek kontenerowych wskazują, że niedotrzymanie nawet tylko jednego z wymagań może spowodować całkowite niepowodzenie sterowanej mikoryzacji [Pietras, Śliwa 2007]. Z najważniejszych czynników, które mogły mieć wpływ na wielkość udziału mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme*, należy wymienić ręczne napełnianie kaset substratem, który mógł być nierównomiernie zagęszczony, w części doniczek zbyt mocno. Sadzonki hodowano w nieogrzewanym namiocie, co powodowało duże dobowe amplitudy temperatury, szczególnie

w pierwszych tygodniach hodowli. Pietras i Śliwa [2007] podają, że optymalna temperatura podczas kiełkowania nasion i pierwszego etapu wzrostu wynosi około 24°C w dzień i nocą. Technologia produkcji sadzonek mikoryzowanych przewiduje, że każde następne podlewanie powinno mieć miejsce po przeschnięciu na około 0,5 cm wierzchniej warstwy substratu hodowlanego, na co wskazuje nieznaczne odstawanie od brzegów cel [Szabla, Pabian 2003]. Dęby deszczował miejscowy szkółkarz ręcznie, dlatego też mogły wystąpić okresy zbytniego przesuszenia i nadmiernego uwilgotnienia podłoża. Ponadto wcześniej przeprowadzane w szkółce LZD w Rogowie doświadczenia na sadzonkach sosny wykazały występowanie silnych, autochtonicznych szczepów grzybów mikoryzowych, które skutecznie konkurowały z wprowadzonym ze szczepionką *H. crustuliniforme* [Aleksandrowicz-Trzczińska 2002; Hamera 2009].

Przeprowadzone doświadczenie pokazało, że doglebowe zastosowanie Falconu i Siarkolu w dawce nawet dziesięciokrotnie większej od zalecanej (zastosowanie dawki potrójnej oznaczało, że do podłoża wprowadzono fungicydy w najwyższych zalecanych stężeniach w ilości 3000 l cieczy roboczej/ha) nie ograniczyło zarówno zamierzonej, jak i spontanicznej mikoryzacji. Pewien wpływ na uzyskane wyniki mógł mieć termin aplikacji fungicydów. Badania dowodzą, że im jest on późniejszy, tym szanse na prawidłowe tworzenie i funkcjonowanie związków mikoryzowych są większe [Cudlin i in. 1983]. Doświadczenie założono 16 kwietnia, a zabiegi rozpoczęto po całkowitym rozwinięciu pierwszych liści, tj. 26 czerwca. W tym czasie siewki zdążyły już rozbudować system korzeniowy i utworzyć mikoryzy. Tak więc pierwszy zabieg był wykonany stosunkowo późno, jeśli porównamy na przykład z rozpoczęciem zabiegów przed pasażniczą zgorzelą, które są wykonywane „na pękającą glebę”, kiedy kiełki dopiero się ukazują i nie rozwinęły się jeszcze korzenie krótkie, potencjalnie mikoryzowe.

Wnioski

- ✦ Falcon 460 EC i Siarkol Extra 80 WP aplikowane doglebowo w żadnej z zastosowanych dawek (pojedynczej, podwójnej i potrójnej) nie powodowały zmian we wzroście sadzonek dębu w szkółce. Oba środki korzystnie wpływały na kształtowanie wskaźnika wartości hodowlanej, silniej u sadzonek mikoryzowanych i traktowanych Falconem niż u niemikoryzowanych i po aplikacji Siarkolu.
- ✦ Doglebowa aplikacja obu fungicydów w dawkach zalecanych i wyższych od zalecanych nie powodowała zmian w poziomie kolonizacji mikoryzowej jednorocznych sadzonek dębu. Dotyczy to zarówno mikoryzacji zamierzonej z grzybem *H. crustuliniforme*, jak i spontanicznej. Oba fungicydy mogą być bez obaw stosowane w ochronie dębów, również tych poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji.
- ✦ Dęby mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* mimo niskiej efektywności zabiegu stanowią lepszy materiał sadzeniowy, gdyż w porównaniu z sadzonkami niemikoryzowanymi są nie tylko istotnie lepiej zmikoryzowane, ale również charakteryzują się lepszymi proporcjami budowy.

Literatura

- Agarar R. 1987-2006. Colour Atlas of Ectomycorrhizae. Einhorn Verlag, Schwabisch-Gmünd.
- Agarar R., Rambold G. 2004-2007. DEEMY – An information system for characterization and determination of ectomycorrhizae (<http://www.deemy.de>). Munch. Ludwig Maximilians University.
- Aleksandrowicz-Trzczińska M. 2002. Wpływ fungicydów na wzrost i kolonizację mikoryzową sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) hodowanych w kontenerach. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Aleksandrowicz-Trzczińska M. 2004. Kolonizacja mikoryzowa i wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria 3 (1): 5-15.

- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2007. Wpływ środków chemicznych stosowanych w szkółkach leśnych w ochronie różnych gatunków drzew na mikoryzy tworzone przez grzyb *Hebeloma crustuliniforme*, pochodzący ze sterowanej mikoryzacji. W: Kowalski S. [red.]. Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym. CILP. 152-160.
- Banach J. 1999. Zastosowanie metod produkcji materiału szkółkarskiego z zakrytym systemem korzeniowym w warunkach górskich. Sylwan 143 (1): 61-75.
- Barzdajn W. 1981. Wpływ gęstości siewu buka pospolitego (*Fagus sylvatica* L.) w szkółce i namiocie foliowym na morfologiczne cechy jednorocznych siewek oraz na udatność i wzrost uprawy. Sylwan 125 (6): 13-20.
- Berft M. 2000. Działania Lasów Państwowych na rzecz poznawania i wdrażania mikoryzacji sadzonek drzew leśnych. Post. Tech. Leś. 76: 44-49.
- Cudlin P., Mejstřík V., Skoupy J. 1983. Effect of pesticides on ectomycorrhizae of *Pinus sylvestris* seedlings. Plant and Soil 71: 353-361.
- 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.
- Gorzela A. 1986. Badania warunków wzrostu i produkcji siewek niektórych gatunków drzew leśnych w namiotach foliowych. Prace IBL 653: 3-84.
- Grzywacz A. 1993. Chemiczna ochrona szkółek leśnych przed chorobami. Post. Tech. Leś. 53: 53-59.
- 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. Wpływ wilgotności podłoża na rozwój mikoryz siewek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. Praca doktorska SGGW, Wydział Leśny, Warszawa.
- 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 Phytologist 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 Phytologist 177: 220-228.
- Ingleby K., Mason P. A., Last F., Fleming L. V. 1990. Identyfikacja ectomycorrhizas. HMSO, London.
- Kowalski S. 2006. Ocena rozwoju polskiej, sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych wraz z wdrożeniem wyników badań. Sprawozdanie końcowe pracy wykonanej na zamówienie Ministra Środowiska. Kraków.
- Kuc T., Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2012. Wpływ fungicydów stosowanych w ochronie przed mączniakiem prawdziwym na wzrost i kolonizację mikoryzową sadzonek dębu hodowanych w kontenerach. Sylwan 156 (9): 672-683.
- Marx D. H., Cordell C. E., France R. C. 1986. Effects of triadimefon on growth and ectomycorrhizal development of loblolly and slash pines in nurseries. Phytopathol. 76: 824-831.
- Pietras Z., Śliwa S. 2007. Warunki hodowli i rozwoju sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w szkółce kontenerowej. W: Kowalski S. [red.]. Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym. CILP. 104-127.
- Rudawska M. 2000. Rola ektomikoryz w biologicznej ochronie drzew leśnych przed patogenami glebowymi. Sylwan 144 (4): 27-39.
- Sabor J. 1999. Możliwości zastosowania substratów trocinowo-torfowych do produkcji sadzonek w namiotach foliowych. Sylwan 143 (1): 99-112.
- Sobczak R. [red.]. 1992. Szkółkarstwo leśne. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- 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.
- Trappe J. M., Molina R., Castellano M. 1984. Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. Ann. Rev. Phytopathol. 22: 331-359.
- 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.
- Werner A., Chojnacki B. 1994. Wpływ skażonych gleb na wzrost siewek sosny, typ i stopień infekcji mikoryzowej. Arb. Kór. 39: 179-206.

SUMMARY**Artificial mycorrhization and soil application of fungicides to pedunculate oak seedlings. I. Mycorrhizal colonization and growth of container-grown seedlings in the nursery**

The aim of the study was to examine the effect of soil application of the fungicides Falcon 460 EC and Siarkol Extra 80 WP on the growth and mycorrhizal colonization level of one-year-old seedlings of pedunculate oak grown in containers in a foil greenhouse. The fungicides were applied at a single dose (i.e. equivalent to the amount of the fungicide that a seedling potentially receivable by a seedling in foliar application recommended for oak protection in forest nurseries), a double dose and a triple dose. The seedlings were grown in peat-vermiculite substrate inoculated and non-inoculated with the *Hebeloma crustuliniforme* mycelium. The growth of seedlings was evaluated on the basis of the following parameters: root collar diameter, shoot and root length, dry weight of above-ground parts and roots. The silvicultural value was defined as the ratio of the dry weight of the above-ground parts to the dry weight of roots. The mycorrhization level of roots was assessed by counting the autotrophic and mycorrhizal tips categorised into morphotypes.

Falcon 460 EC and Siarkol Extra 80 WP applied to the soil in any of the used doses (single, double and triple) did not cause changes in the growth of oak seedlings in the nursery. Both fungicides had a favourable effect on the silvicultural index value, stronger in the mycorrhized seedlings treated with Falcon than in non-mycorrhized seedlings treated with Siarkol. Soil application of both fungicides at the recommended and higher dose did not cause changes in the level of mycorrhizal colonization of one-year oak seedlings. This applies to both the spontaneous and controlled mycorrhization with the fungus *H. crustuliniforme*. Both fungicides can be safely used in the protection of oak trees, including those undergoing controlled mycorrhization. Despite the low efficiency of the treatment, the oaks mycorrhized with the fungus *H. crustuliniforme* appeared to be a superior planting material, they showed not only a significantly higher level of mycorrhization, but also better morphological proportions compared to the non-mycorrhized seedlings.