پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۷ / شماره۳ پاییز / ۱۴۰۲/ص۲۷۷-۲۹۰
dx. doi.org/10.22092/ijsr.2024.363673.726

اثر مایه‌زنی قارچ‌های میکوریزی بر زی‌توده و جذب عناصر غذایی نهال‌های فندق در شرایط عرصه

یونس رستمی‌کیا*، محمد متینی زاده و احمد رحمانی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران**younesrostamikia@gmail.com**

دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران**mohamadmatinizadeh@yahoo.com**

دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران**arahmani39@gmail.com**

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۵ و پذیرش:۱۴۰۲/۹/۲۷

چکیده

قارچ‌های میکوریزی از جمله ریزجانداران مفید خاک هستند که در اثر همزیستی با ریشه گیاهان می‌توانند با جذب و انتقال آب و مواد غذایی بیشتر به گیاه، سبب افزایش رشد گیاه میزبان شوند. به منظور بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر زی‌توده و جذب عناصر غذایی نهال‌های فندق، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط عرصه اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل مبداء نهال در سه سطح (فندقلو، مکش و مکیدی) و تلقیح قارچی در سه سطح (ترکیب ۱: *Rhizophagus irregularis*، ترکیب ۲: مایه تلقیح Myco root و شاهد) با سه تکرار ۲۵ تایی با فاصله ۳ × ۳ متر، در سطح ۶۰۷۵ مترمربع در اراضی زراعی حاشیه جنگل فندقلوی اردبیل کاشته شدند. نتایج پس از چهار سال نشان داد که در هر سه مبدأ، در مقایسه با نهال شاهد (مایه‌زنی نشده)، همه مشخصه‌های مورد بررسی نهال‌های مایه‌زنی شده برتر بودند. بیشترین مقدار صفات مزبور به نهال‌های مبدأ فندقلو با مایه‌زنی *R. irregularis* اختصاص داشت. به‌گونه‌ای‌که در این نهال‌ها، کلنیزاسیون ریشه، زی‌تودهٔ خشک ریشه، ساقه و برگ به‌ترتیب ۵۱/۹%، ۵۴/۴%، ۴۵/۱%و ۴۰/۷%، و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی به ترتیب ۳۸/۸%، ۴۵/۴%، ۶۲/۹%، ۳۵/۵% و ۴۲/۶% در مقایسه با نهال‌های شاهد افزایش داشت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاشت نهال‌های فندق مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریزی (به‌ویژه قارچ *R. irregularis*) رشد رویشی بیشتری خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: جنگل فندقلو، کود زیستی، وزن خشک ریشه

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول:younesrostamikia@gmail.com

مقدمه

فندق (*Corylus avellana* L.) از مهم‌ترین گونه‌های پیشرو در جنگل محسوب می‌شود و می‌تواند به‌عنوان گونه پرستار در حفاظت از نهال‌های جنگلی نقش مهمی در احیاء و بازسازی جنگل‌های تخریب‌شده داشته باشد. میوه فندق به دلیل دارا بودن انواع ویتامین‌ها، مواد مغذی، چربی‌های سالم (غالباً اولئیک اسید)، پروتئین، فیبر و آنتی‌اکسیدان‌ها نقش بسیار زیادی در تغذیه و سلامت انسان دارد (دلگادو و همکاران، ۲۰۱۰). از طرفی برگ‌های آن به دلیل دارا بودن عناصر مهم تغذیه‌ای، کمک فراوانی به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌نماید (مراقبی و همکاران ۱۳۸۹). متأسفانه در سال‌های اخیر عوامل مختلفی از قبیل تبدیل کاربری، چرای دام، آتش‌سوزی و قطع بی‌رویه درختان (تهیه زغال) از مهم‌ترین عوامل تخریب رویشگاه‌های این‌گونه است (رستمی‌کیا و شریفی، ۱۳۹۷). در این مناطق همگام با تخریب پوشش گیاهی، تخریب خاک نیز صورت گرفته است که درنتیجه، فقر عناصر غذایی و شرایط میکروکلیمای نامساعد، باعث شده استقرار نهال‌های کاشته شده در این جنگل‌ها بسیار محدود و با مشکل مواجه شود. برای غلبه بر مشکلات موجود، راهکارهایی لازم است تا توانایی نهال‌ها را در برابر تنش‌های محیطی از طریق بهبود جذب آب و مواد غذایی افزایش دهد و بدین ترتیب برنامه‌های جنگل‌کاری و مدیریت جنگل را با موفقیت روبرو سازد. ازاین‌رو ضرورت دارد از طریق تولید نهال‌های سالم و باکیفیت نسبت به احیاء و توسعه رویشگاه‌های این‌گونه اقدام کرد. یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر موردتوجه واقع‌شده، استفاده از کودهای زیستی (قارچ‌های همزیست با گیاه) است. اندک بودن همزیستی میکوریزی در سیستم ریشه نهال‌های تولید شده در نهالستان یکی از دلایل عمده عدم موفقیت استقرار و رشد گونه‌های جنگلی و عدم احیای زمین‌های تخریب‌شده است (ویلیامز و همکاران، ۲۰۱۲). در حقیقت، استفاده از نهال‌های میکوریزه شده در جنگلکاری‌ها می‌تواند نقش مهمی در تسهیل مراحل احیاء و بازسازی توده‌های جنگلی تخریب‌شده داشته باشد و اثربخشی جنگل‌کاری‌ها را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد (بارنا، ۲۰۰۳).

همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزی یکی از مهم‌ترین، استراتژی‌های گیاهان برای کسب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی هست. نزدیک به ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی توانایی همزیستی با قارچ‌های میکوریزی رادارند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات زیادی در ارتباط با همزیستی بین گیاهان و قارچ‌های میکوریزی انجام‌گرفته است و موارد زیادی از مزایای همزیستی ازنظر رشد گیاه گزارش‌شده است این مزیت‌ها شامل افزایش جذب آب و مواد مغذی گیاه (کرنل و همکاران، ۲۰۲۲) و همچنین افزایش تحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، آلودگی فلزات سنگین، سایه و دمای شدید است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

قارچ‌های میکوریز آربسکولار در جذب مواد غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک در خاک مؤثر هستند (بگام و همکاران، ۲۰۱۹). این قارچ‌ها علاوه برافزایش جذب مواد غذایی معدنی در گیاه، می‌تواند سبب تحریک مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز شوند (اگیو و همکاران، ۲۰۰۴). این قارچ‌های میکوریز میزبان خود را به‌وسیله سیگنال‌های آزادشده از ریشه گیاه شناسایی و با آن تشکیل همزیستی می‌دهند سپس با فرستادن اندام مکنده خود به درون سلول میزبان، مواد موردنیاز را توسط هیف‌های خود جذب می‌کند(تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳). قارچ‌های میکوریزی از طریق مکانیسم‌های مختلف حلالیت عناصر موجود در خاک را که در حالت عادی غیرقابل جذب برای گیاه هست افزایش داده و با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک سطح جذب ریشه گیاه را افزایش می‌دهند (تورجمان و همکاران، ۲۰۰۹). همزیستی میکوریزی نقش بسیار زیادی در ایجاد، نگهداری، پایداری و توسعه جوامع گیاهی به‌خصوص در

مناطقی با فشارهای گوناگون فیزیکی و اکولوژیکی ایفا می‌کند (رازوک و کجی، ۲۰۱۵). نتایج نشان می‌دهند که استفاده از قارچ‌های میکوریزی تأثیر مثبتی روی رشد و افزایش زی‌توده دارد (عالم و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش زی‌توده از طریق افزایش جذب آب، مواد معدنی به‌ویژه نیترون و فسفر (وانگ و همکاران، ۲۰۲۳) و تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین به وسیله این قارچ‌ها اثبات‌شده است (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳).

قارچ‌های میکوریزی، علاوه برافزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی نقش مهمی در محافظت از گیاهان در برابر بسیاری از انواع تنش‌های زیستی از قبیل عوامل بیماری‌زا و پاتوژن ایفا می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش اثرات تنش زیستی توسط قارچ‌های میکوریزی از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی القایی یا اولیه در پاسخ به همزیستی، ازجمله افزایش سطح و حجم ریشه و افزایش کارائی مصرف آب گیاه، انجام می‌شود (وهاب و همکاران، ۲۰۲۳).

مطالعات زیادی مبنی براثر بخشی قارچ‌های میکوریزی در کمک به جذب آب و انتقال مواد مغذی به‌ویژه فسفر به نهال‌ها که در شرایط عرصه کاشته شده‌اند، وجود دارد. ازجمله، استفاده از نهال‌های زیتون (*Olea europaea sylvestris* subsp.) مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریزی *Funneliformis mosseae* و *R. irregularis* به همراه کمپوست در جنگل‌کاری منطقه Murcia (جنوب شرق اسپانیا) بعد از ۱۲ ماه نشان داد نهال‌های تلقیح شده با *R.irregularis* ازنظر قطریقه و ارتفاع به ترتیب ۴۵/۸ و ۶۲/۴ درصد، رویش بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد دارند (کاراواکا و همکاران،a ۲۰۰۲). در پژوهشی دیگر، استفاده از نهال‌های پسته (*Pistacia lentiscus* L.) مایه‌زنی شده با قارچ (*R. irregularis*) و کمپوست در جنگل‌کاری منطقه Murcia (جنوب شرق اسپانیا) بعد از ۱۲ ماه رشد ۱۰۶ درصدی ارتفاع نهال‌های تلقیح شده را در پی داشت (کاراواکا و همکاران،b ۲۰۰۲). تلقیح قارچ‌های میکوریزی *F. mosseae* و *R. irregularis* نهال‌های زیتون (*Olea europaea* L.) هم در نهالستان و هم در عرصه سبب بهبود صفات رویشی نهال‌ها شدند. به‌طوری‌که نتایج بعد از ۲۰ ماه در شرایط عرصه نشان داد نهال‌های تلقیح شده با *R.irregularis* رشد قطری و ارتفاعی به ترتیب ۲۳/۸ و ۱۲/۵ درصد بیشتر از نهال‌های شاهد دارند (استون و همکاران، ۲۰۰۳). کاشت چهار گونه درختچه‌ای بومی شامل *Olea europaea* subsp . *sylvestris*، *Retama sphaerocarpa*، *Rhamnus lycioides* و *Pistacia lentiscus* که با قارچ میکوریزی *F. claroideum* تلقیح شده بودند بعد از دو سال نشان داد زی‌توده اندام هوایی و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ نهال‌های میکوریزی اختلاف معنی‌داری با نهال‌های غیر میکوریزی دارد (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۵). اثر تلقیح قارچ میکوریزی(*F. mosseae*) بر بیوماس ریشه و تبادلات گازی و عناصر تغذیه‌ای نهال‌های زردآلو (*Prunus sibirica* L.) در شمال‌غربی چین بعد از ۶۰ ماه نشان داد کلنیزاسیون ریشه، بیوماس خشک‌ریشه و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم ریشه به ترتیب ۸۳/۷، ۴۲ ، ۸۲/۲ و ۴۹/۷ درصد بیشتری در مقایسه با نهال‌های غیر میکوریزی افزایش داشتند (بای و همکاران، ۲۰۲۱).

در داخل کشور مطالعات معدودی در زمینه تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر صفات رویشی نهال‌های فندق در شرایط عرصه طبیعی انجام‌شده است که در این زمینه، فقط می‌توان به مطالعه رستمی‌کیا و همکاران (۱۴۰۱) اشاره کرد. در این تحقیق مایه‌زنی نهال‌های فندق با قارچ‌های میکوریزی *R. irregularis* و مایه تجاری مایکوروت بعد از چهار سال کاشت در عرصه نشان داد هر دو قارچ باعث بهبود صفات رویشی شدند. ولی بیشترین مقدار صفات رویشی (زنده‌مانی ۵۲/۷ درصد، رویش قطریقه ۸۲/۱ درصد، رویش ارتفاع ۵۸/۹ درصد) در نهال‌های مایه‌زنی شده با *R. irregularis* نسبت به شاهد (نهال‌های غیرمیکوریزی مبدأ فندقلو) مشاهده شد. تحقیق حاضر باهدف ارزیابی تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر بیوماس خشک‌ریشه، ساقه و برگ و غلظت عناصر تغذیه‌ای برگ

نهال‌های فندق در شرایط عرصه (طبیعت) به‌منظور توسعه سطح کشت آن در منطقه فندقلوی اردبیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

این تحقیق در حاشیهٔ جنگل فندقلو (اراضی زارعی دیم واقع در روستای خانقاه سفلی) با مختصات ۳۸ درجه و ۲۴ دقیقه و ۱ ثانیهٔ عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۷ ثانیهٔ طول شرقی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. میانگین دمای سالانه ۹/۱ سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر ۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداقل ۴/۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه ۳۷۸/۹ میلی‌متر است. شایان ذکر است این منطقه تحت تأثیر جریانات اقلیم خزری است، میزان واقعی بارندگی سالانه در این منطقه به دلیل نفوذ جریانات خزری که باعث مه بارش می‌شود، بیشتر از این مقدار است. اقلیم منطقه بر اساس فرمول آمبرژه (Q= ۳۸/۳) نیمه مرطوب سرد است.

روش پژوهش

اوایل مهرماه ۱۳۹۵ میوه‌های فندق از درختان مادری سالم با مشخصه‌های یکسان (قطر و ارتفاع) از سه رویشگاه جنگلی جمع‌آوری شدند (جدول ۱). بذرها بعد ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (۲ در۱۰۰۰) جهت شکست خواب بذر به مدت چهار ماه در دمای ۱ ± ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند (رستمی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱- خصوصیات رویشگاهی محل جمع‌آوری بذرهای فندق

رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	جهت جغرافیایی
فندقلو	۱۴۷۰- ۱۴۳۰	۱۹°۳۸´۱۶"	۴۸ ۳۶° ´۲۸"	جنوبی
مکش	۱۶۲۰- ۱۵۵۰	۴۳°۳۷´۰۲"	۴۷ ۵۳°´۱۰"	جنوبی- جنوب غربی
مکیدی	۱۵۲۰- ۱۴۷۰	۵۱°۳۸´۱۵"	۴۸ ۳۹°´۱۷"	جنوب غربی

جهت تعیین صفات کمی و کیفی بذور و میوه، از هر مبدأ ۱۰۰ عدد میوه فندق انتخاب شد. سپس وزن و مغز فندقه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم و ابعاد فندقه (طول و عرض) به‌وسیله کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصه‌های طول، عرض و وزن میوه جمع‌آوری‌شده از سه رویشگاه جنگلی

مبدأ بذر	طول میوه (سانتی‌متر)	عرض میوه (سانتی‌متر)	وزن میوه (گرم)
فندقلو	۱/±۸۸ ۰/۱۱	۱/±۵۵ ۰/۱۲	۲/۴۲ ۰±/۲۹
مکش	۱/۶۱ ۰±/۰۹	۱/۴۵ ۰±/۱۴	۱/۷۷ ۰±/۲۱
مکیدی	۱/۴۸ ۰±/۱۵	۱/۰±۴۲/۲۳	۱/۴۲ ۰±/۴۱

اشتباه معیار ± میانگین

سپس بذرهای تیمار شده در گلدان‌های پلی‌اتیلنی (به ابعاد۲۰×۱۵×۱۵ سانتی‌متر) حاوی خاک استریل (با مشخصات آمده در جدول۳) برای این کار انتخاب شدند. شایان‌ذکر است که برای حذف کلیه میکروارگانیسم‌های طبیعی و تعیین اثرات هر یک از میکروارگانسیم‌های (باکتری) مورداستفاده، خاک نهالستان در دمای۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت اتوکلاو شده بود.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محتوی گلدان‌های پلی‌اتیلنی

هدایت الکتریکی (Ds/m)	اسیدیته	درصد اشباع	درصد آهک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	درصد کربن آلی	درصد ازت کل	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	آهن (ppm)	روی (ppm)
۰/۳۸۶	۶/۳۴	۱/۷۶	۲/۲۳	۳۶	۲۶	۳۸	۱/۲۱	۰/۱۳	۹/۴۴	۱۷۴	۲/۰۳	۲/۵۲

مایه‌زنی نهال‌ها و انتقال به عرصه

مایه تلقیح قارچ میکوریزی *Rhizophagus irregularis* از بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور و مایه تلقیح تجاری با نام[1] Myco root با ۱۰۰پروپاگول در هرگرم، از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان، تهیه شد. یک‌ماه پس از رشد نونهال‌ها (اوایل اردیبهشت ۱۳۹۶) مقدار۵۰ گرم پروپاگول از هر یک از قارچ‌های مذکور در بستر کشت گلدان (عمق فعالیت ریشه نونهال‌ها)، قرار داده شد. سپس، در فروردین ۱۳۹۷، نهال-های همگن فندق انتخاب و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور مبدأ نهال در سه سطح (فندقلو، مکش و مکیدی) و تلقیح قارچی در سه سطح (ترکیب ۱: *Rhizophagus irregularis*، ترکیب ۲: مایه تلقیح Myco root و شاهد) با سه تکرار ۲۵ تایی بافاصله ۳ × ۳ متر، در سطح ۶۰۷۵ مترمربع در اراضی زراعی حاشیه جنگل فندقلوی اردبیل در شرایط دیم کاشته شدند. عملیات نگهداری در طی دوره آزمایش از قبیل وجین علف‌های هرز و خاک دادن پای نهال‌ها نیز انجام شد.

برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق‌های ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری محل کاشت نهال‌ها در عرصه، چهار نمونه برداشت‌شده و پس از مخلوط کردن، نمونه‌های یک کیلویی تهیه شده به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل منتقل شدند (جدول ۴).

جدول ۴- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه موردمطالعه

عمق خاک (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	مواد آلی (درصد)	ازت (درصد)	فسفر (mg kg $^{-1}$)	پتاسیم (mg kg $^{-1}$)	آهن (mg kg $^{-1}$)	روی (mg kg $^{-1}$)
۰-۲۰	۶/۷۹	۰/۵۶۱	۳۶	۲۸	۳۶	رسی لومی	۱/۲۶	۰/۱۷	۱۰/۰۴	۱۸۳	۲۰/۲۲	۱/۵۲
۲۰-۴۰	۷/۳۸	۰/۳۸۰	۱۴	۳۶	۵۰	شنی لومی	۱/۷۸	۰/۳۰	۲۹/۴۳	۲۴۲	۱۶/۸۰	۰/۹۲

تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه به قارچ‌های میکوریزی

قبل از کشت نهال‌ها در عرصه، جهت اطمینان از همزیستی قارچ‌های میکوریزی باریشه نهال‌ها (جدول ۵) و نیز در انتهای سال چهارم (۱۴۰۰) درصد کلنیزاسیون آن‌ها تعیین شد بدین منظور، سه نهال به‌طور تصادفی انتخاب و سپس از هر نهال ۱۰ نمونه ریشه یک سانتی‌متری تهیه و با استفاده از روش استاندارد (فیلیپس و هیمن،۱۹۷۰) شستشو و رنگ‌آمیزی شدند. به‌منظور رنگ بری و نرم کردن بافت‌ها، ریشه‌ها به مدت یک ساعت در محلول هیدورکسید پتاسیم ۱۰ درصد و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند، پس از شستشوی ریشه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در محلول آب‌اکسیژنه قلیایی ۱۰ درصد (H_2O_2 30 ml+NH_4OH 3 ml) برای رنگبری کامل، قرار داده شدند. ریشه‌ها بعد از شستشوی، برای رنگ‌پذیری به مدت سه دقیقه در محلول اسید کلریدریک (یک درصد) و محلول لاکتوگلیسیرین تریپان‌بلو به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا رنگ بگیرند. در مرحله بعد، درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها به روش تقاطع شبکه در زیر دستگاه بینوکولار بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (جیووانتی و موسه، ۱۹۸۰).

[1] . حاوی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus irregularis* و *Glomus etunicatum*

$$\text{درصد کلنیزاسیون ریشه} = \frac{\text{تعداد ریشه‌های میکوریزی}}{\text{تعداد ریشه‌های برخورد کرده با اضلاع شبکه}} \times ۱۰۰$$

جدول ۵- میانگین درصد کلنیزاسیون نهال‌های فندق جنگلی با تلقیح قارچی قبل از انتقال به عرصه

مبدأ نهال	تلقیح قارچ	درصد کلنیزاسیون
فندقلو	شاهد	۰
	R. irregularis	۴۴/۴
	Myco Root	۳۴/۷
مکش	شاهد	۰
	R. irregularis	۴۲/۰۱
	Myco Root	۳۰/۲
مکیدی	شاهد	۰
	R. irregularis	۳۰/۸
	Myco Root	۳۴/۱

اندازه‌گیری زی‌توده

در سال آخر پروژه، از هر تکرار یک نهال از خاک به‌طور کامل خارج شد. ابتدا وزن‌تر ریشه، ساقه و برگ با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد وزن خشک اندام‌ها اندازه‌گیری شد.

تعیین غلظت عناصر غذایی برگ

در سال آخر اجرای پروژه، جهت تعیین عناصر غذایی، نمونه‌برداری برگ در مردادماه (اوج رشد برگ) انجام شد. از هر تکرار سه نهال انتخاب و از برگ‌های یک‌سوم پایینی نهال، سه برگ برداشت شد. نمونه‌ها در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک سپس با دستگاه آسیاب پودر شد و غلظت عناصر غذایی ماکرو (ازت، فسفر، پتاسیم) برای تعیین ازت بعد از هضم یک گرم از نمونه در اسیدسولفوریک غلیظ به روش کجلدال (جکسون، ۱۹۶۷)، فسفر به روش خشک سوزانی و پتاسیم به روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت آهن و روی، یک گرم از وزن خشک بافت برگ را در لوله‌های مخصوص هضم ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک به آن اضافه کرده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد جهت خشک شدن در آون قرار داده شدند. سپس بعد از سرد شدن، صاف‌کرده و به حجم ۲۵ بالون ژوژه رسانده شدند. سپس با رسم خط استاندارد و استانداردسازی با دستگاه جذب اتمی مدل فیلیپین P.U.9400 قرائت شدند.

طرح آزمایش و روش آنالیز آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون شاپیرو- ویلک و همگنی واریانس داده‌ها از طریق آزمون لون تعیین شد. برای بررسی تأثیر معنی‌داری تیمارهای اصلی و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های زی‌توده و عناصر تغذیه‌ای نهال‌ها از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه و برای مقایسهٔ میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطوح آماری پنج و یک درصد استفاده شد.

نتایج

درصد کلنیزاسیون ریشه

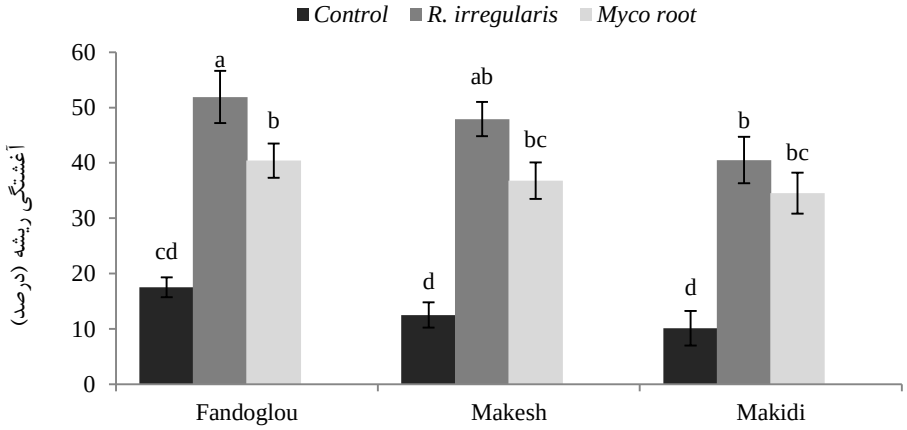
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی مبدأ نهال و قارچ و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بر مشخصه‌های کلنیزاسیون ریشه، زی-توده خشک‌ریشه، زی‌توده خشک ساقه و زی‌توده برگ نهال‌های فندق داشتند (جدول ۶). نتایج نشان داد نهال‌های مبدأ فندقلو، مکش و مکیدی به ترتیب ۵۱/۹، ۴۷/۹ و ۴۰/۵

درصد با قارچ میکوریزی *R. irregularis* و ۴۰/۴، ۳۶/۸ و ۳۴/۵ درصد با قارچ Myco root کلنیزاسیون ریشه داشتند (شکل ۱). به‌عبارت‌دیگر تعامل ریشه نهال‌های فندق با قارچ *R. irregularis* نسبت به قارچ Myco root بیشتر است.

جدول ۶- نتایج تجزیهٔ واریانس اثر مبدأ نهال و قارچ بر کلنیزاسیون ریشه و زی‌توده خشک نهال‌های فندق در سال چهارم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلنیزاسیون ریشه	زی‌تودهٔ خشک‌ریشه	زی‌تودهٔ خشک ساقه	زی‌تودهٔ خشک برگ
تکرار	۲	۹۰۲/۱۰ ns	۴۸/۱۰ ns	۷۸/۱۲ ns	۱۶/۱۸ ns
مبدأ نهال	۲	۸۷۱۰/۳۴**	۷۷/۰۹**	۷۲/۴۴*	۱۵/۱۰**
خطای اصلی	۴	۱۲/۷	۱۹/۹۲	۱۹/۲۰	۱۸/۰۹
قارچ	۲	۱۴۴۰/۱۴*	۶۹/۵۶**	۶۰/۴۵**	۲۲/۸۷*
مبدأ نهال × قارچ	۴	۷۸۶/۶۰**	۱۰۰/۲۳**	۵۶/۱۶**	۱۰/۱۰*
خطای فرعی	۱۲	۸/۸۰	۵/۵۷	۸/۸۸	۸/۱۰
ضریب تغییرات (cv%)	–	۱۴/۱۴	۱۱/۱۰	۱۴/۵۶	۱۷/۴۰

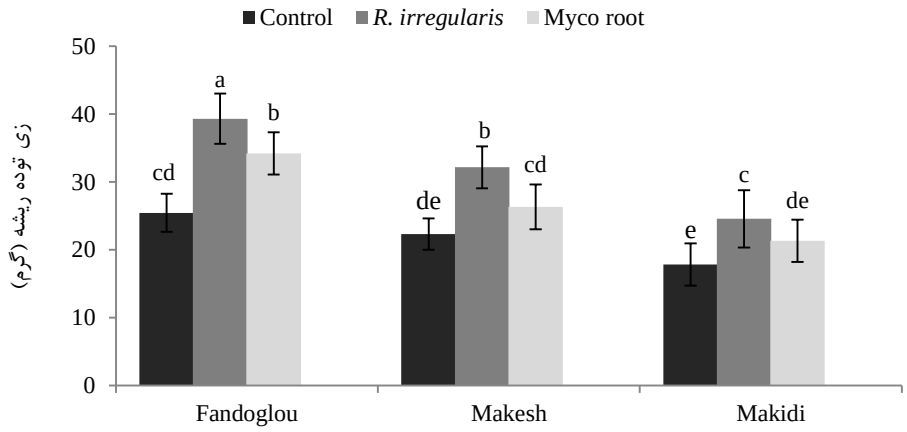
* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار.



شکل ۱- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر درصد کلنیزاسیون ریشه نهال‌های فندق

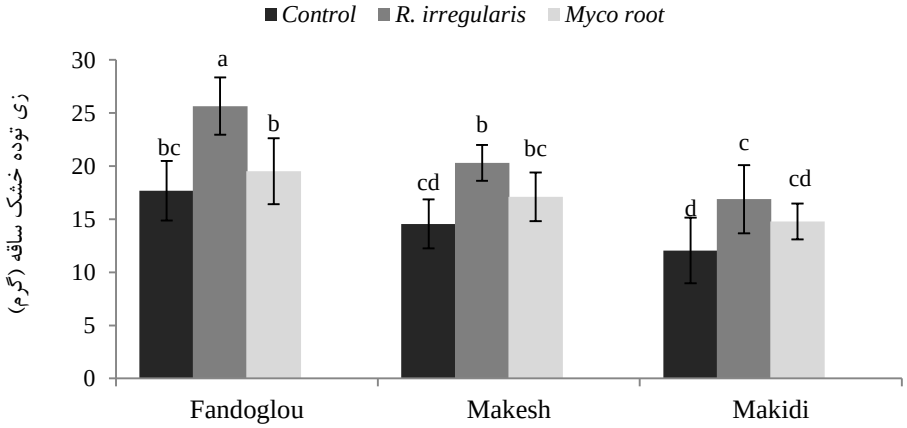
زی‌توده خشک‌ریشه، ساقه و برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی مبدأ نهال و قارچ و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بر مشخصه‌های زی‌توده خشک‌ریشه، زی‌توده خشک ساقه و زی‌توده برگ نهال‌های فندق داشتند (جدول ۴). مقدار زی‌توده ریشه نهال‌های مبدأ فندقلو (۳۸/۳ گرم) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۳۲/۱۶ گرم) و مبدأ مکیدی (۲۴/۵ گرم) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بیش از قارچ Myco root بود. به‌طوری‌که نهال‌های مایه‌زنی شدهٔ با *R. irregularis* مبدأ فندقلو ۵۴/۴ درصد، مکش۴۴/۱ درصد و مکیدی ۳۷/۷ درصد زی‌توده خشک‌ریشه بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر زی‌توده خشک‌ریشه نهال‌های فندق

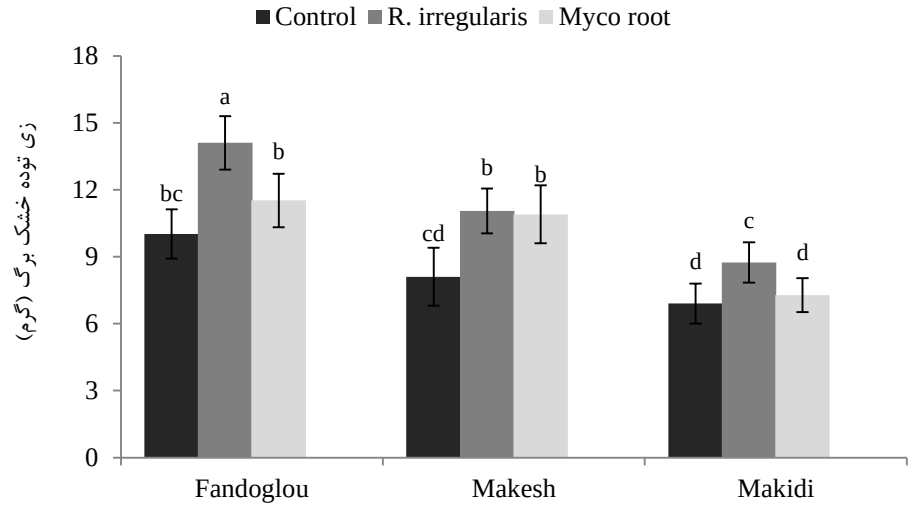
مقدار زی‌توده خشک ساقه نهال‌های مبدأ فندقلو (۲۵/۶ گرم) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۲۲/۳ گرم) و مبدأ مکیدی (۱۸/۹ گرم) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بیش از قارچ مایکوروت بود. به‌طوری‌که نهال‌های مایه‌زنی شدهٔ با *R. irregularis* مبدأ فندقلو ۴۵/۱ درصد، مکش ۳۹/۵ درصد و مکیدی ۳۱/۴ درصد زی‌توده خشک ساقه بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر زی توده خشک ساقه نهال‌های فندق

زی‌توده خشک برگ

مقایسه میانگین داده نشان داد مقدار زی‌توده برگ نهال‌های مبدأ فندقلو (۱۴/۱ گرم) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۱۱/۰۵گرم) و مبدأمکیدی (۸/۷ گرم) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* بیش از قارچ مایکوروت بود. به‌طوری‌که نهال‌های مایه‌زنی‌شدهٔ با *R. irregularis* مبدأ فندقلو ۴۰/۷ درصد، مکش ۳۶/۴ درصد و مکیدی ۲۶/۷درصد زی‌توده خشک برگ بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل۴).



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر زی توده خشک برگ نهال‌های فندق

تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر غلظت عناصرماکرو و میکرو نهال‌های فندق

نتایج تجزیه واریانس در سال چهارم نشان داد که مایه‌زنی نهال‌های فندق (هر سه مبدأ) با هر دو قارچ تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر نیترژون، فسفر و پتاسیم، آهن و روی برگ داشته‌اند (جدول ۷). ولی کاربرد تیمار *R. irregularis* بیش از تیمار مایکوروت سبب افزایش غلظت عناصر ماکرو در برگ نهال‌های فندق شده است.

نتایج مقایسه میانگین جدول ۷ نشان داد نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) مایه‌زنی شده با قارچ *R. irregularis* بیشترین غلظت عناصر ماکرو نیترژون، فسفر و پتاسیم به ترتیب با ۳/۳۶، ۰/۳۲ و ۳/۱۵ درصد و عناصر آهن و روی برگ به ترتیب با ۴۲/۰۳ و ۲۱/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به خود اختصاص دادند. به‌طوری‌که باعث افزایش عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی به ترتیب ۳۸/۸، ۴۵/۴، ۶۲/۹، ۳۵/۵ و ۴۲/۶ درصد در مقایسه با نهال‌های شاهد شدند (جدول ۸).

جدول ۷- نتایج تجزیهٔ واریانس اثر مبدأ نهال و قارچ بر غلظت عناصر غذایی برگ در نهال‌های فندق در سال چهارم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
تکرار	۲	۰/۱۲۲ ns	۰/۰۰۰۹ ns	۰/۱۹۷ ns	۱۷/۴۹ ns	۱۱/۰۳ ns
مبدأ نهال	۲	۲/۰۳*	۱/۲۱*	۳/۹۸ **	۷/۱۳ *	۰/۲۴ *
خطای اصلی	۴	۰/۲۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹	۲۱/۲	۷/۴۵
قارچ	۲	۱/۰۱*	۵/۰۶*	۱۱/۰۷*	۱/۲۵**	۳/۰۲*
مبدأ نهال × قارچ	۴	۱/۷۳*	۱/۰۴*	۲/۱۱ *	۷/۰۷ *	۴/۱۷*
خطای فرعی	۱۲	۰/۸۰	۰/۰۷	۱/۰۲	۰/۱۰	۰/۱۹
ضریب تغییرات (cv%)	–	۱۷/۶	۱۰/۴۲	۱۲/۲	۱۴/۰۴	۱۸/۱۱

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۸- مقایسه میانگین ± خطای معیار اثرات متقابل مبدأ نهال× تلقیح قارچ بر غلظت عناصر غذایی برگ نهال‌های فندق

مبدأ نهال	تلقیح قارچ	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
فندقلو	شاهد	۲/۴۲±۰/۱۲ b	۰/۲۲±۰/۰۱ b	۱/۳۲±۰/۰۳۳ b	۲۷/۱۱±۱۰/۶۱ b	۱۵/۳۲±۱/۰۲ c
	R. irregularis	۳/۳۶±۰/۲۵ a	۰/۳۲±۰/۰۳ a	۳/۱۵±۰/۰۷۹ a	۴۲/۰۳±۱/۱۲ a	۲۱/۸۵±۲/۱۶ a
	Myco root	۲/۹۴±۰/۱۳ ab	۰/۳۰±۰/۰۹ a	۱/۶۶±۰/۰۶۱ b	۲۳/۱۲±۲/۰۳ c	۱۸/۶۶±۲/۰۱ b
مکش	شاهد	۲/۴۰±۰/۲۸ b	۰/۱۸±۰/۰۹ c	۱/۵۵±۰/۰۴۳ b	۲۵/۹۰±۲/۰۱ bc	۱۴/۵۵±۱/۴۴ cd
	R. irregularis	۲/۹۹±۰/۱۸ ab	۰/۳۰±۰/۰۳ a	۲/۵۹±۰/۰۴۹ ab	۳۱/۳۴±۲/۹۰ b	۱۹/۱۹±۲/۱۳ ab
	Myco root	۲/۵۵±۰/۱۱ b	۰/۲۶±۰/۰۸ b	۱/۲۱±۰/۰۶۷ b	۲۲/۱۱±۰/۷۷ c	۱۷/۲۱±۱/۰۷ bc
مکیدی	شاهد	۲/۲۱±۰/۱۵ c	۰/۱۶±۰/۰۵ c	۱/۰۲±۰/۰۲۳ c	۱۸/۰۸±۲/۷۰ d	۱۲/۰۲±۱/۰۲ d
	R. irregularis	۲/۸۶±۰/۲۶ ab	۰/۲۴±۰/۰۸ b	۲/۵۳±۰/۰۷۸ ab	۲۴/۶۰±۲/۱۴ c	۱۷/۵۳±۱/۰۹ bc
	Myco root	۲/۴۷±۰/۱۹ b	۰/۲۲±۰/۰۹ b	۱/۴۰±۰/۰۵۴ b	۲۱/۸۰±۱۹/۱۰ c	۱۴/۴۰±۱/۰۵ cd

میانگین‌های دارای حروف مشترک در ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌داری است

بحث

پژوهش حاضر نشان داد کاربرد هر دو قارچ *R. irregularis* و Myco root درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه نهال‌های هر سه مبدأ را در مقایسه با نهال‌های شاهد (بدون مایه‌زنی قارچ) افزایش داد ولی قارچ *R. irregularis* توانایی بیشتری برای کلنیزه کردن ریشه نهال‌های فندق در مقایسه با قارچ Myco root داشت. درزمینهٔ تعامل ریشه فندق با قارچ‌های میکوریزی، مراقبی و همکاران (۱۳۸۹) و هیلزچانسکا (۲۰۰۸) همزیستی میکوریزی را در گونه فندق گزارش کرده‌اند. در این پژوهش بیشترین درصد کلنیزاسیون ریشه در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلوی اردبیل در تلقیح با قارچ میکوریزی *R. irregularis* مشاهده شد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر گزارش‌شده است ازجمله کاراواکا و همکاران (a ۲۰۰۲) نشان دادند درصد کلنیزاسیون قارچ *R. irregularis* در مقایسه با *G. mosseae* بر روی نهال‌های زیتون (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*.) بیشتر بود. در تحقیقی دیگر مایه‌زنی نهال‌های زردآلو (*P. sibirica*) با قارچ میکوریزی (*Funneliformis mosseae*) در شمال غربی چین در سال پنجم نشان داد میزان کلنیزاسیون ریشه نهال‌های زردآلو ۸۳/۷ درصد است (بای و همکاران، ۲۰۲۱).

پژوهش حاضر نشان داد که زی‌توده نهال‌های فندق (هر سه مبدأ) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار مایه‌زنی قارچ قرار گرفت و مایه‌زنی قارچ میکوریزی *R. irregularis* سبب افزایش زی‌توده خشک‌ریشه (۳۷/۷ تا ۵۴/۴ درصد)، ساقه (۳۱/۴ تا ۴۵/۱ درصد) و برگ (۲۶/۷ تا ۴۰/۷ درصد) در مقایسه با قارچ Myco root و نهال‌های شاهد (غیر میکوریزی) شد. معمولاً گونه میکوریزایی که توانایی بیشتری در کلنیزه کردن ریشه‌ها دارد، می‌تواند در جذب عناصر غذایی، آب و افزایش مقاومت گیاهان در عرصه-های طبیعی کارایی بیشتری داشته باشد و عملکرد آن‌ها را افزایش دهد. در مورد تأثیر اندک قارچ Myco root در مقایسه با قارچ *R. irregularis* بر مشخصه‌های رویشی می‌توان اظهار داشت مایه تجاری Myco root از سه قارچ میکوریزی (*Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus irregularis*و *Glomus etunicatum*) تشکیل‌شده است که اثرات متقابل بین آن‌ها در شرایط طبیعی سبب کلنیزاسیون اندک ریشه نهال‌های و به‌تبع آن تأثیر اندک بر مشخصه‌های رویشی موردمطالعه داشته است. اگرچه قارچ-های میکوریزی در ایجاد همزیستی با گیاهان میزبان، به-طور غیراختصاصی عمل می‌کنند و تقریباً هر قارچ میکوریزی می‌تواند با یک‌گونه میزبان تشکیل همزیستی بدهد. ولی ترجیح میزبانی یا رابطه ترجیهی بین گونه‌های خاص قارچ‌ها با میزبان‌های گیاهی مشخصی اثبات‌شده

است (سیلوا، ۱۹۸۶). مطالعات چندی در خصوص اثربخشی قارچ *R. irregularis* در افزایش رشد رویشی و زی‌توده گونه‌های مختلف گزارش‌شده است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد ازجمله کاراواکا و همکاران (۲۰۰۲a) نشان دادند اثربخشی مایه‌زنی قارچ *R. irregularis* برافزایش رشد رویشی به‌ویژه زی‌توده نهال‌های زیتون (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*.) در جنگل‌کاری منطقه Murcia در جنوب شرق اسپانیا بیشتر از *Glomus mosseae* است. مایه‌زنی نهال‌های پسته (*P. lentiscus*) با قارچ میکوریزی (*R. irregularis*) در مقایسه با قارچ‌های دیگر افزایش معنی‌دار صفات رویشی نهال‌ها را در پی‌داشت. (کاراواکا و همکاران، ۲۰۰۲b). مایه‌زنی نهال‌های زیتون (*O. europaea*.) با قارچ‌های میکوریزی بعد از ۲۰ ماه حاکی از اثربخشی بیشتر *R.irregularis* در مقایسه با *Glomus mosseae* بر صفات رویشی نهال‌ها در نهالستان و هم در شرایط عرصه بود (استون و همکاران، ۲۰۰۳). نهال‌های زردآلو (*P. sibirica*) تحت تأثیر مایه‌زنی با قارچ میکوریزی (*Funneliformis mosseae*) بعد از ۵ سال افزایش ۴۲ درصدی بیوماس خشک‌ریشه در مقایسه با نهال‌های غیر میکوریزی در پی داشت (بای و همکاران، ۲۰۲۱). همزیستی قارچ‌ها با گیاه میزبان باعث افزایش سطح ویژه مؤثر ریشه‌ها به‌واسطه اشتراک هیف‌های قارچ، افزایش حجم ریشه و ایجاد کانال‌هایی با مقاومت اندک برای رسیدن آب به سمت ریشه سبب تسهیل و افزایش جذب آب و عناصر غذایی و درنهایت افزایش زی‌توده گیاه را باعث می‌شوند. در این راستا وانگ و همکاران (۲۰۲۳) اظهار داشتند قارچ‌های میکوریزی علاوه برافزایش جذب آب و مواد غذایی معدنی در گیاه، می‌تواند سبب افزایش ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز و درنتیجه زی‌توده گیاهان میزبان را به همراه داشته باشد. قارچ‌های میکوریزی از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی القایی یا اولیه در پاسخ به همزیستی، سبب افزایش سطح و حجم ریشه و افزایش کارایی مصرف آب گیاه، می‌شوند (بای و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد هر دو تیمار قارچی، نه‌تنها بر پاسخ شاخص‌های رویشی نهال‌ها اثرگذار بودند، بلکه نقش مؤثری در افزایش غلظت عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و میکرو (آهن و روی) برگ نهال‌ها را در مقایسه با شاهد داشتند. بااین‌حال بیشترین مقدار عناصر موردبررسی در تلقیح با *R. irregularis* در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو مشاهده شد. افزایش عناصر غذایی نهال‌های میکوریز در مقایسه با نهال‌های غیر میکوریزی در پژوهش‌های دیگران نیز گزارش‌شده است. برای مثال، بای و همکاران در سال ۲۰۲۱ نشان دادند قارچ میکوریزی باعث افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم ریشه در نهال‌های زردآلو (*P. sibirica*) می‌شوند.

علاوه بر این، افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در نهال‌های تلقیح شده چهار گونه *Olea europaea* subsp *sylvestris*، *Retama sphaerocarpa*، *Rhamnus lycioides* و *Pistacia lentiscus* در مطالعات کاراواکا و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده‌شده است. قارچ‌های میکوریزی در اثر همزیستی باریشه گیاهان، افزایش رشد رویشی میزبان را از طریق تسهیل در جذب آب و عناصر غذایی سبب می‌شوند (کندلر، ۲۰۰۷). جذب عناصر غذایی توسط نهال‌های فندق، علاوه بر قابلیت دسترسی عناصر تغذیه‌ای در محلول خاک به توانایی سیستم ریشه‌ای در جذب عناصر غذایی نیز مرتبط است (تورجمان و همکاران، ۲۰۰۹). به‌عبارت‌دیگر افزایش جذب عناصر غذایی در نهال‌های مایه‌زنی شده با قارچ *R. irregularis* به عوامل مختلفی ازجمله افزایش زی‌توده خشک گیاه و درصد کلنیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزا نیز بستگی دارد. در شرایط کمبود عناصر غذایی، هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریزا بااتصال مناطق تخلیهٔ ریشه به یکدیگر، جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند و با افزایش عناصر غذایی به خاک،

سیستم ریشه‌ای متراکم‌تر می‌شود و مناطق تخلیهٔ ریشه را همپوشانی می‌کنند (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳).

افزایش جذب یون‌های متحرک و غیرمتحرک در گیاهان میکوریزا ممکن است با تغییر مورفولوژی ریشه، ترشح اسیدهای آلی و ترکیباتی مثل سیدروفورها یا افزایش آزادسازی دی اکسید کربن توسط هیف‌های میکوریزا نیز مرتبط باشد (وهاب و همکاران، ۲۰۲۳). قارچ‌های میکوریزی با افزایش رشد ریشه و گسترش هیف‌های خود (افزایش سطح جذب)، آن را از مناطق دیگر جذب کرده و در اختیار گیاه میزبان قرار می‌دهند (اسمیت و رید، ۲۰۰۸). گونه‌های مختلف قارچ-های میکوریزی با استفاده از سازوکارهایی مانند افزایش جذب عناصر غذایی در منطقه فراریشه و افزایش حلالیت عناصر و تولید هورمون‌های رشد، سبب افزایش رشد و بهبود تغذیه گیاهان می‌شوند (تادسه و فاسیل، ۲۰۱۳).

پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ نهال‌های فندق هر سه مبدأ تحت تأثیر مایه‌زنی قارچ متفاوت است ولی نهال‌های مبدأ فندقلو بیش از نهال‌های مبدأ مکش و مکیدی افزایش رشد داشتند. در واقع رشد بیشتر نهال‌های مبدأ فندقلو در پژوهش حاضر را می‌توان به مشابه بودن شرایط اقلیمی، خاکی و ارتفاع از سطح دریا مبدأ نهال و محل کاشت نسبت داد. در این راستا، یافته‌های حمزه سورکی و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد نزدیکی محل جمع‌آوری بذرهای زبان‌گنجشک به محل کاشت، سبب افزایش پارامترهای رویشی در مقایسه با سایر پرووانانس‌های بذر می‌شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ابعاد (طول، قطر و وزن) بذرهای مبدأ فندقلو در مقایسه با دو مبدأ دیگر بزرگ‌تر است و بذرهای درشت‌تر از ذخیرهٔ غذایی بیشتری برخوردار هستند این عامل در شرایط عرصه سبب شده است که نهال‌های مبدأ فندقلو از رشد بیشتری در مقایسه با نهال‌های برخوردار باشند. یافته‌های پژوهش حاضر با بسیاری از مطالعات، که نشان دادند ذخیره مواد بیشتر باعث استقرار و رشد رویشی بیشتر نهال می‌شود، همخوانی دارد (سیوا، ۲۰۰۰; بارالتو و همکاران، ۲۰۰۵; پیزو و همکاران، ۲۰۰۶).

نتیجه‌گیری

درنهایت، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگرچه مایه‌زنی هر دو قارچ میکوریزی در مقایسه با شاهد باعث افزایش زی توده خشک (ریشه، ساقه و برگ) و تغذیه نهال‌های فندق شده است، ولی قارچ میکوریزی *R. irregularis* در مقایسه با مایکوروت توانایی بیشتری در افزایش رشد و تأمین غذایی نهال‌ها دارد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش میزان موفقیت نهال‌کاری فندق در عرصه، مایه‌زنی نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) با قارچ میکوریزی در نهالستان، مدنظر قرار گیرد. در صورت جمع‌آوری بذر سایر مناطق برای اهداف دیگر، مانند افزایش تنوع ژنتیکی می‌توان از بذرهای مناطق مکش و مکیدی هم برای تولید نهال استفاده کرد تا علاوه برافزایش موفقیت در احیاء جنگل‌های فندقلو، تنوع ژنتیکی در جنگل‌کاری‌ها و باغات فندق افزایش یابد.

فهرست منابع

۱. مراقبی، ف.، متینی زاده، م. خانجانی شیرازی، بابا.، ۱۳۸۹. همزیستی میکوریزی فندق و فعالیت اسید فسفاتاز در دو منطقه مکش و فندقلو. مجله گیاه و زیست بوم، جلد ۳، شماره ۲۴، صفحه ۲۳-۱۳.

۲. رستمی‌کیا، ی. شریفی،ج. ۱۳۹۷. فندقلو بزرگترین ذخیره گاه ژنتیکی فندق در ایران را دریابید. مجله طبیعت ایران، جلد۳، شماره ۶، صفحه ۹۹-۹۰.

۳. رستمی‌کیا، ی.، طبری کوچکسرایی، م.، اصغرزاده، ا.، رحمانی،ا .۱۳۹۷. اثر چینه سرمایی بر صفات جوانه‌زنی بذر سه اکوتیپ فندق جنگلی (*Corylus avellana L.*). مجله جنگل و فرآورده های چوب، جلد ۷۱، شماره ۱، صفحه ۱۲-۱.

۴. رستمی‌کیا، ی.، متینی‌زاده، م.، رحمانی، ا .۱۴۰۱. اثر مبداء بذر و تلقیح میکوریزی بر مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های فندق در منطقه فندقلو . مجله جنگل و فرآورده‌های چوب. ۷۵جلد ۷۵، شماره ۲، صفحه ۱۵۳-۱۴۱.

۵. حمزه سورکی، م.، الوانی نژاد، س.، فیاض، ص.، اسپهبدی، ک. ۱۳۹۷. تأثیر منشا بذر بر ویژگی های جوانه زنی بذر L *Fraxinus excelsior* در نهالستان چلرومودی استان مازندران، مجموعه مقالات اولین همایش ملی جنگل در ایران ، تحقیق و توسعه، ۲۷ الی ۲۸ تیرماه ۱۳۹۷، ارومیه، ایران

6. Augé, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Can. J. Soil Sci. 84:373–381.
7. Baraloto, C., Forget, P.M., and D.E. Goldberg. 2005. Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment. J. Ecol. 53: 1-10.
8. Barna, T. 2003. The role of mycorrhizae in afforestation. VIIth International symposium interdisciplinary regional research – ISIRR 2003. Hungary – Serbia & Montenegro- Romania, 25th – 26th, September,
9. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. and L. Zhang. 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. Front. Plant Sci. 10:1068.
10. Bi, Y., Xie, L., Wang, Z., Wang, K. and W. Liu. 2021. Arbuscular mycorrhizal symbiosis facilitates apricot seedling (*Prunus sibirica* L.) growth and photosynthesis in northwest China. Int. J. Coal Sci. Technol. 8: 473-482.
11. Caravaca, F., Barea, J.M., Figueroa, D. and A. Roldán. 2002a. Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reafforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. Appl. Soil Ecol. 20: 107-118.
12. Caravaca, F., Barea, J.M. and A. Roldán. 2002b. Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* L. seedlings afforested in a degraded semiarid soil. Soil Biol. Biochem. 34 (8): 1139-1145.
13. Caravaca, F., Alguacil. M.M., Barea, J.M. and A. Roldán. 2005. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. Soil Biol. Biochem. 37(2):227-233
14. Cornell, C., Kokkoris, V., Turcu, B., Dettman, J., Stefani, F. and N. Corradi. 2022. The arbuscular mycorrhizal fungus Rhizophagus irregularis harmonizes nuclear dynamics in the presence of distinct abiotic factors. Fungal Genet Biol.158:103639.
15. Delgado, T., Malheiro, R., Pereira, J.A. and E. Ramalhosa. 2010. Hazelnut (*Corylus avellana* L.) kernels as a source of antioxidants and their potential in relation to other nuts. Ind. Crops Prod. 32: 621–626.
16. Estaun, V., Camprub, A. and C. Calvet. 2003. Nursery and field response of olive tree inoculated with two arbuscular mycorrhiza fungi *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 128 (5): 767-775.
17. Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.
18. Hilszczanska, D., Sierota, Z. and M. Palenzona. 2008. New Tuber species found in Poland. Mycorrhiza .18: 223–226.
19. Kandeler, E., Marschner, P., Tscherko, D., Gahoonia, T.S., Nielsen, N.E. 2002. Microbial community composition and functional diversity in the rhizosphere of maize. Plant and Soil. 238: 301–312.
20. Issac, R.A. and W.C. Johnson. 1975. Colloborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. J. Assoc. Agri. Chem. 58: 336-340.

Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Biomass and Uptake of Nutrients of Hazelnut Seedlings in Field Condition

Y. Rostamikia*, M. Matinizadeh and A. Rahmani

Assist., Prof., Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, I.R. Iran:**younesrostamikia@gmail.com**

Assoc., Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran:**mohamadmatinizadeh@yahoo.com**

Assoc., Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran:**arahmani39@gmail.com**

Received: December 18, 2023and Accepted: December 18, 2023

Abstract

Mycorrhizal fungi are one of the useful soil microorganisms, which can increase the growth of the host plant by absorbing and transferring more water and nutrients to the plant due to symbiosis with plant roots. Therefore, in order to investigate the effect of mycorrhizal fungi on the biomass and nutrient absorption of hazelnut seedlings, a factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design in field conditions. The investigated factors included the three origins of the seedlings (Fandoghlou, Makesh, and Makidi regions) and fungal inoculation in three levels (Rhizophagus irregularis, Myco root inoculum and control) with three replications of 25 at a distance of 3x3 m, in an area of 6075 m2 in the agricultural lands on the edge of Fandoghlou Forest in Ardabil, Iran. After four years, the results showed that the inoculated seedlings of all three origins were superior in terms of all the examined characteristics compared to the control (non-inoculated) seedlings. The highest traits belonged to Fandoghlou seedlings with R. irregularis inoculation. In these seedlings, root colonization, dry mass of root, stem and leaf were, respectively, 51.9%, 54.4%, 45.1%, and 40.7% higher, and N, P, K, Fe, and Zn were, respectively, 38.8%, 45.4%, 62.9%, 35.5%, and 42.6% more compared to the control seedlings. Finally, it can be concluded that planting of hazelnut seedlings inoculated with mycorrhizal fungi (especially R. irregularis) will have higher vegetative growth.

Keywords: Fandoghlou Forest, Bio-fertilizer, Root dry weight

*Corresponding Author's email: younesrostamikia@gmail.com

21. Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc., Englewood cliffs, NJ, USA, 521 p
22. Pizo, M.A., Allmen, C.V., Patricia, L., and C. Morellato .2006. Seed size variation in the palm Euterpe edulis and the effects of seed predators on germination and seedling survival. Acta Oecol. 29: 1- 4.
23. Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. TBMS. 55: 158-161.
24. Razouk, R., and A. Kajji. 2015. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Water Relations and Growth of Young Plum Trees under Severe Water Stress Conditions. Int. J. Plant Sci. 5(5): 300-312.
25. Seiwa, K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. Oecologia. 123: 1-7.
26. Smith, S.E. and D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London
27. Tadesse, C. S. and A. T. Fassil. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with shade trees and *Coffea Arabica* L. in a coffee-based agroforestry system in Bonga, Southwestern Ethiopia. Afrika Focus. 26 (2): 111-131.
28. Sylvia, D.M. 1986. Spatial and temporal distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with Uniola paniculata in Florida foredunes. Mycologia, 78(5): 728-734.
29. Turjaman, M., Santoso, E., Sitepu, I. R., Tawaraya, K., Purnomo, E., Tambunan, R. and M. Osaki. 2009. Mycorrhizal fungi increased early growth of tropical tree seedlings in adverse soil. Indones. J. For. Res. 6 (1): 17-25.
30. Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C. and S.P.P. Reddy. 2023. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. Plants. 12, 3102.
31. Wang, W., Shi, J., Xie, Q., Jiang, Y., Yu, N. and E. Wang. 2017. Nutrient Exchange and Regulation in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. Mol. Plant. 10: 1147–1158.
32. Wang, M., Wang, Z., Guo, M., Qu, L. and A. Biere. 2023. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and herbivore infestation depend on availability of soil water and nutrients. Front. Plant Sci. 14:1101932.
33. Williams, A., Norton, D.A. and H.J. Ridgway. 2012. Different arbuscular mycorrhizal inoculants affect the growth and survival of *Podocarpus cunninghamii* restoration plantings in the Mackenzie Basin, New Zealand. 50 (4): 473-479.
34. Zhang, H., Liu, Z., Chen, H. and M. Tang. 2016. Symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi and Robinia pseudoacacia L. improves root tensile strength and soil aggregate stability. PLoS ONE 11: e0153378.
35. Zhang, H., Wei, S., Hu, W., Xiao, L. and M. Tang. 2017. Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* Increased Potassium Content and Expression of Genes Encoding Potassium Channels in *Lycium barbarum*. Front. Plant Sci. 8:440.