مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال پانزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲
ص ۲۲۵-۲۱۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2022.344665.1872
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20086113.1402.15.3.6.3

بهبود صفات رویشی- فیزیولوژیک پرووِنانس‌های فندق مایه‌زنی‌شده با باکتری‌های محرک رشد، در شرایط عرصه

یونس رستمی‌کیا [۱*]، احمد رحمانی [۲] و مریم تیموری [۳]

[۱] 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
[۲] دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
[۳] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۶)

چکیده

کندی رشد نهال‌های فندق به‌ویژه در سال‌های نخست جنگلکاری، اجرای برنامه‌های احیا و توسعهٔ جنگل فندقلو را با تأخیر مواجه می‌کند. در این زمینه، کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه باکتری‌های افزایندهٔ رشد گیاه می‌تواند راهبرد مؤثری در بهبود صفات رویشی و فیزیولوژیک نهال فندق محسوب شود. بدین منظور در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۶ در نهالستان فندقلوی اردبیل، خاک اطراف ریشهٔ نونهال‌های گلدانی فندق، تولیدشده از دو مبدأ فندقلو (جنگل فندقلوی اردبیل) و مکش (جنگل آق‌اولر گیلان)، با باکتری‌های *Pseudomonas putida* DSM291، *Bacillus subtilis* FzB24 و *Enterobacter cloacae* E1 به‌صورت مجزا و ترکیبی مایه‌زنی شدند. سپس در آبان ۱۳۹۷، نهال‌های یکسالهٔ فندق به اراضی زراعی حاشیهٔ جنگل فندقلو منتقل شده و با توجه به دو فاکتور یادشده (مایه‌زنی، مبدأ بذر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار دوازده‌تایی در شرایط دیم کشت شدند. نتایج پس از چهار سال نشان داد که نهال‌های تلقیح‌شدهٔ هر دو مبدأ، از لحاظ همهٔ صفات بررسی‌شده اندازهٔ بزرگ‌تری از نهال‌های تلقیح‌نشده داشتند. بزرگ‌ترین اندازهٔ متغیرهای بررسی‌شده به نهال‌های مبدأ فندقلو با مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری اختصاص داشت، به‌طوری که در این نهال‌ها زنده‌مانی ۴۹/۷، رویش قطر یقه ۵۱/۱، رویش ارتفاع ۶۰/۴، زی‌تودهٔ خشک ریشه، ساقه و برگ به‌ترتیب ۸۵/۶، ۷۵/۱ و ۶۸/۲، فتوسنتز ۴۹/۹، هدایت روزنه‌ای ۵۸/۰۴، کارایی مصرف آب ۱۲۱/۷ و محتوای کلروفیل ۴۶/۸ درصد نسبت به نهال‌های مایه‌زنی‌نشدهٔ مبدأ فندقلو افزایش داشت. در کل نظر به اثر باکتری‌های محرک رشد تحت بررسی (به‌ویژه تیمار ترکیبی) در بهبود صفات رشد و فیزیولوژی پرووِنانس‌های فندق، تلقیح با باکتری نهال‌های فندق در نهالستان اقدامی مفید برای توفیق نهالکاری‌های آن در عرصه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری سودوموناس، زنده‌مانی، فندق، قطر یقه، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

فندق جنگلی (*Corylus avellana* L.) از خانوادهٔ Corylacesae جزء گونه‌های پیشاهنگ در مراحل اولیهٔ توالی جنگل است و تأثیر بسیار مهمی در احیای جنگل‌های مخروبه دارد و می‌تواند به‌عنوان درختچهٔ پرستار در استقرار و حفاظت از نهال‌های گونه‌های جنگلی مؤثر باشد (Clark et al., 2008). جنگل فندقلوی اردبیل، مهم‌ترین ذخیره‌گاه ژنتیکی گونهٔ فندق

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۴۱۵۳۳۷۷۶ ایمیل: younesrostamikia@gmail.com

در کشور محسوب می‌شود که به‌صورت توده‌های خالص یا آمیخته با دیگر گونه‌های جنگلی (مانند اوری (*Quercus macranthera* Fisch. & C. A. Mey.)، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.)، کَچَف (*Carpinus schuschaensis* H.Winkl.)، لِوَر (*Carpinus orientalis* Mill.)، کَرب (*Acer campestre* L.)، شیردار(*Acer cappadocicum* Gled.)، ازگیل وحشی (*Mespilus germanica* L.)، سرخ ولیک (*Crataegus pseudohetrophylla* Pajark.) و آلوچهٔ وحشی (*Prunus divaricata* Ledeb.) رویش دارد. متأسفانه در سال‌های اخیر تبدیل کاربری، چرای دام، آتش‌سوزی و قطع درختان از عوامل مؤثر در تخریب این جنگل باارزش بوده است (Rostamikia & Sharifi, 2019).

در دهه‌های گذشته پروژه‌های نهالکاری فندق از طریق جدا کردن پاجوش و ریشه‌جوش از پایه‌های مادری و کاشت آنها به‌طور مستقیم در عرصه‌های تخریب‌شده بود. در این روش، استقرار و زنده‌مانی نهال‌ها اندک بود و نهالکاری‌ها چندان موفق نبودند. در حال حاضر، عملیات احیا و توسعهٔ جنگل از طریق تولید نهال دانه‌رست (تولیدشده در نهالستان فندقلو) انجام می‌گیرد. نظر به اینکه نهال فندق در سال اول، رشد ارتفاعی و قطری ضعیفی دارد، این امر، افزایش هزینه‌های تولید نهال‌های دانه‌رست در نهالستان و نیز تأخیر در برنامه‌های جنگلکاری را سبب می‌شود (مشاهدات نگارندگان).

با توجه به اهمیت اکولوژیک و اقتصادی گونه فندق، جنگلکاری و احیای رویشگاه‌های این گونه از طریق نهالکاری از اهمیت زیادی برخوردار است. موفقیت برنامه‌های نهالکاری، به رشد و زنده‌مانی نهال‌های کاشته‌شده بستگی دارد که به این منظور در بیشتر مواقع از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. ازآنجا که کاربرد این کودها اغلب بدون توجه به شرایط آب‌وهوایی و نیز وضعیت تغذیه‌ای خاک صورت می‌گیرد، این امر بر اکوسیستم خاک اثر می‌گذارد و افزون‌بر از بین بردن میکروفلور و میکروفون مفید خاک، سبب بروز خسارات جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی، بهداشتی و اقتصادی می‌شود. بنابراین لزوم استفاده از روش‌های جایگزین برای تولید نهال‌های باکیفیت که موفقیت برنامه‌های نهالکاری را تضمین می‌کند (Espahbodi, 2020) بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از این روش‌های کاربردی در سال‌های اخیر، رویکرد استفاده از باکتری‌های محرک رشد است که در بهبود جوانه‌زنی (Rostamikia et al., 2018) و صفات رویشی نهال‌های جنگلی از جمله فندق تأثیر بارزی دارد (Rostamikia et al., 2017). در حقیقت، تولید نهال‌های کیفی با استفاده از تلقیح باکتری‌های محرک رشد و کاشت آنها در عرصه، می‌تواند تأثیر بسزایی در تسهیل مراحل احیا و توسعهٔ توده‌های جنگلی تخریب‌شده داشته باشد (Teimouri et al., 2018; Rezaee et al., 2017).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از باکتری‌های محرک رشد روی گونه‌های جنگلی گزارش شده است. از جمله در تحقیقی روی نهال *Picea glauca x engelmannii* مایه‌زنی‌شده با باکتری‌های *Pseudomonas putida* و *Hydrogenophaga pseudoflava* بعد از ۱۳ ماه کاشت در منطقهٔ British Columbia کانادا، تفاوت زیاد زنده‌مانی نهال‌های تلقیح‌شده (۲۲ تا ۹۴ درصد) و زی‌تودهٔ خشک ریشه (۴۷ تا ۷۰ درصد) در مقایسه با نهال‌های شاهد دیده شد (Chanway et al., 1993). تلقیح ترکیبی سویه‌های باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas aureofaciens* strain K23 و *Arthrobacter oxydans* strain N74 روی نهال‌های *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco ۱۳ ماه بعد از کاشت در شرایط عرصه، سبب افزایش ۱۳ درصدی تعداد شاخه و ۲۶ درصدی وزن خشک ریشه در مقایسه با نهال‌های شاهد شد (Chanway & Holl, 1994). پاسخ دو گونهٔ *Quercus coccifera* L. و *Pinus halepensis* Mill. به مایه‌زنی باکتری *Pseudomonas fluorescens* در اسپانیا حاکی از برتری اندازهٔ رویش

ارتفاعی (به‌ترتیب ۳۲/۶ و ۳۷/۷ درصد)، وزنِ تر ساقه (۱۶/۷ و ۵۸/۸ درصد)، غلظت نیتروژن برگ (۱۱/۷ و ۱۵/۴ درصد) و هدایت روزنه‌ای (۵/۶ و ۶/۸ درصد) نهال‌های تلقیح‌شده در مقایسه با شاهد بود (Rincon et al., 2008). تأثیر تلقیح دو سویه (OSU-142 و M_3) از باکتری *Bacillus* در بوتهٔ تمشک (*Rubus idaeus* L.) در منطقهٔ ارزروم ترکیه با افزایش رشد رویشی ساقه به‌ترتیب، ۱۳/۶ و ۱۵ درصد و تعداد خوشه در ساقه به‌ترتیب، ۲۸/۷ و ۲۵/۴ درصد نسبت به شاهد همراه بود (Orhan et al., 2006). کاربرد ترکیبی باکتری‌های محرک رشد سویه‌های Bacillus M3، Bacillus OSU-142 و Microbacterium FS01 روی درختان سیب (Malus domestica L.) در استان Malatya ترکیه بعد از پنج سال، سبب افزایش محصول درختان سیب به‌ترتیب ۸۸ و ۲۶ درصد، طول ساقه به‌ترتیب ۲۹/۶ و ۱۶/۶ درصد و وزن میوه به‌ترتیب ۲۵/۵ و ۱۳/۹ درصد در مقایسه با شاهد شد (Karlidag et al., 2007). اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های محرک رشد بر رشد *Schizolobium parahyba* (vell) S.F.Blake. (گونه درختی تند رشد) در شرایط عرصه نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد (همانند قارچ‌های میکوریزی) باعث افزایش عملکرد چوب به‌مقدار ۲۰ درصد در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی شدند (Cely et al., 2016). بررسی اثر تلقیح باکتری *Frankia* روی قلمه‌های ریشه‌دارشدهٔ گونهٔ *Casuarina equisetifolia* Forst. نشان داد که قلمه‌های ریشه‌دارشدهٔ این گونه یک سال بعد از انتقال به عرصه، سبب افزایش رشد ارتفاعی (۵۶/۸ درصد) و محیط ساقه (۵۸/۲ درصد) در مقایسه با شاهد شد (Karthikeyan et al., 2013). در تحقیقی روی نهال *Pinus taeda* مایه‌زنی‌شده با باکتری*Bacillus subtilis* سبب افزایش ۶۷ و ۳۳ درصدی در زی‌تودهٔ ریشه و اندام هوایی شد (Santos et al., 2018). در حقیقت می‌توان اظهار داشت که ریزوباکتری‌های *B. subtilis* و *P. putida* جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی هستند که می‌توانند از طریق تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید و تنظیم مقدار هورمون‌های گیاهی (Gouda et al., 2018)، افزایش جذب فسفر و تثبیت نیتروژن (Vejan et al., 2016) موجب بهبود رشد گیاه شوند (Basu et al., 2021).

در داخل کشور تحقیقات اندکی در زمینه تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر رشد و بهبود صفات رویشی نهال‌های جنگلی در شرایط عرصهٔ طبیعی گزارش شده است که در این زمینه، فقط می‌توان به پژوهش (Teimouri et al., 2018) اشاره کرد. در تحقیق ایشان مایه‌زنی بذرهای دو گونهٔ *Quercus brantii* Lindl. و *Quercus libani* Oliv. با باکتری *Pseudomonas* حکایت از افزایش رشد طولی (۲۵/۷ و ۲۳/۲ درصد)، رشد قطری (۱۸/۷ و ۱۵/۱ درصد) و وزن خشک ریشه (۳۱/۱ و ۲۹/۸ درصد) نهال‌های هر دو گونه در مقایسه با شاهد داشته است.

به‌طورکلی، با توجه به گزارش قبلی (Rostamikia et al., 2017) در زمینهٔ بهبود زنده‌مانی و صفات رویشی نونهال‌های فندق در شرایط نهالستان تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد، در تحقیق حاضر تأثیر این میکروارگانیسم‌ها بر استقرار و بهبود صفات رویشی و فیزیولوژیک نهال‌های فندق در شرایط عرصه (طبیعت) به‌منظور تعیین راهکارهای مدیریتی و کاربردی مناسب برای استفاده از این باکتری‌ها در نهالکاری اراضی بایر حاشیهٔ جنگل فندقلوی اردبیل بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش 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. براساس داده‌های پانزده‌سالهٔ (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹) ایستگاه کلیماتولوژی شهرستان نمین (نزدیک‌ترین ایستگاه

هواشناسی به منطقه)، حداکثر دما ۳۷/۵ درجهٔ سانتی‌گراد در مردادماه، حداقل درجهٔ حرارت ۲۱/۱- درجهٔ سانتی‌گراد در بهمن‌ماه و متوسط دمای سالانه ۸/۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه ۳۷۸/۹ میلی‌متر است. البته مقدار واقعی بارندگی سالانه در این منطقه جنگلی به‌دلیل نفوذ جریان‌های خزری که سبب مه‌بارش (باران مخفی در فصل پاییز و زمستان) می‌شود، بیشتر از این مقدار است. براساس فرمول آمبرژه (Q_2 = ۳۸/۳۵) و مقدار m = ۷ - (معدل حداقل دما در سردترین ماه سال)، اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب با زمستان‌های سرد است (Rostamikia & Sharifi, 2019).

شیوهٔ اجرای پژوهش

تهیه بذر، تولید نهال و آلوده‌سازی ریشهٔ نهال

اوایل مهرماه ۱۳۹۵ میوه‌های فندق از پایه‌های مادری میانسال و سالم با ویژگی‌های یکسان از نظر قطر یقه (۱۰ سانتی‌متر) و ارتفاع (۳/۵۰ متر) از دو رویشگاه جنگلی با ویژگی‌های اشاره‌شده در جدول ۱ جمع‌آوری شدند.

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

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و رویشگاهی محل جمع‌آوری بذرهای فندق

Table 1. Geographical and habitat characteristics of the place where hazelnut seeds were collected

رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above see level (m)	عرض جغرافیایی latitude	طول جغرافیایی Longitude	جهت جغرافیایی Geographical direction	اقلیم Climate
مکش Makesh	1550-1620	´ 43°37 "02	" 10´ 53°47	southern and Southwest	مرطوب سرد با دو ماه فصل خشک Cold humid with two months of dry season
فندقلو Fandoglou	1430-1470	´ 19°38 "16	" 28´ 36°48	southern	نیمه‌مرطوب سرد با چهار ماه فصل خشک Semi-humid cold with four months of dry season

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های کمی و کیفی میوه‌های جمع‌آوری‌شده از رویشگاه‌های جنگلی

Table 2. Average quantitative and qualitative traits of fruits collected from forest habitats

رویشگاه Habitat	طول میوه (سانتی‌متر) Nut length(cm)	عرض میوه (سانتی‌متر) Nut width (cm)	وزن میوه (گرم) Nut weight (g)	وزن مغز (گرم) Kernel weight (g)	پوکی میوه (%) Nut blankness (%)
مکش Makesh	1.88 ±0.11	1.45 ±0.12	2.42 ±0.29	0.66 ±0.09	8.0 ±1.92
فندقلو Fandoglou	1.61 ±0.09	1.55 ±0.14	1.77 ±0.21	0.57 ±0.21	17.20 ±6.65

میانگین± اشتباه معیار

Mean ± standard error

برای ضدعفونی بذرها از قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (۲ در ۱۰۰۰ گرم) استفاده شد. سپس بذرها با آب مقطر شسته شده و برای اعمال چینه‌سرمایی، به مدت چهار ماه در ماسهٔ مرطوب در دمای ۱± ۴ درجهٔ سانتی‌گراد (یخچال) لایه‌گذاری شدند Rostamikia et al., 2018). بذرها سپس (اوایل اردیبهشت ۱۳۹۶) در گلدان‌های پلاستیکی (به ابعاد ۲۰×۱۵×۱۵ سانتی‌متر) حاوی خاک استریل در نهالستان فندقلوی اردبیل کاشته شدند. پس از یک ماه، عمق ۵ سانتی‌متری خاک اطراف ریشه نونهال‌ها به حجم ۳۰ میلی‌لیتر واحد کلنی به‌طور جداگانه با مایه‌های تجاری *Pseudomonas putida* DSM291، FzB24 *Bacillus subtilis* و *Enterobacter cloaca* E1 (جمعیت^{۸}۱۰ واحد کلنی سلول در هر میلی‌لیتر) و ترکیبی از این سه باکتری تلقیح شد. نونهال‌ها در دورهٔ رویش و تا آبان‌ماه مراقبت شدند.

انتقال نهال‌ها به عرصه

در آبان ۱۳۹۶، نهال‌های تولیدشدهٔ همگن (به طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر)، به عرصهٔ مجاور نهالستان، واقع در اراضی بایر حاشیهٔ جنگل به مساحت ۳۲۴۰ مترمربع منتقل شدند. سپس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (با دو فاکتور اشاره‌شده در بالا شامل دو مبدأ بذر، و مایه‌زنی به‌صورت جداگانه با باکتری‌های *Pseudomonas putida* DSM291، FzB24 *Bacillus subtilis* و *Enterobacter cloaca* E1، ترکیب این سه باکتری و بدون مایه‌زنی یا شاهد در سه تکرار) کاشته شدند. تعداد نهال در هر تکرار ۱۲ اصله (در مجموع ۳۶۰ اصله نهال) بود که با فاصلهٔ ۳ × ۳ متر، کاشته‌شده در چاله‌هایی به ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر، به‌مدت چهار سال در شرایط دیم بررسی شدند. عملیات نگهداری شامل وجین علف‌های هرز و سله‌شکنی پای نهال‌ها، در صورت لزوم، انجام گرفت. قبل از انتقال نهال‌ها به عرصه، نمونه‌های خاک از دو عمق ۰ تا ۲۰ و۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از چند نقطه عرصه برداشت شد و پس از مخلوط کردن، نمونه‌های یک کیلویی تهیه و برای آزمایش به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل منتقل شد. مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه در جدول ۳ ارائه شده است.

اندازه‌گیری زنده‌مانی و صفات رویشی

تعداد نهال‌های سبزشده و باقی‌مانده تا زمان اندازه‌گیری‌ها نسبت به تعداد نهال‌های کاشته‌شده به‌عنوان درصد زنده‌مانی تعیین شد. با استفاده از شاخص مدرج (با دقت سانتی‌متر) و نوار قطرسنج (با دقت میلی‌متر) به‌ترتیب اندازه‌گیری اولیهٔ قطر یقه و ارتفاع نهال‌ها (آبان‌ماه ۱۳۹۶) (شکل ۱) و اندازه‌گیری ثانویهٔ آنها (شکل ۲) در انتهای دورهٔ رویش (مهرماه ۱۴۰۰) انجام گرفت. با تفاضل دو اندازه‌گیری اول و دوم، رویش قطری یقه و رویش ارتفاعی نهال تعیین شد. همچنین از هر تکرار یک نهال از خاک به‌طور کامل خارج شد. ابتدا وزنِ تر ریشه، ساقه و برگ با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد وزن خشک اندام‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی

برخی از مشخصه‌های فیزیولوژیک نهال‌ها از قبیل نرخ فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق سلولی در واحد سطح برگ نهال‌ها، در انتهای دورهٔ رویش سال چهارم اندازه‌گیری شدند. بدین منظور در هر تیمار، سه نهال به‌طور تصادفی انتخاب شد و اندازه‌گیری‌ها روی چهارمین و پنجمین برگ بالغ، سالم و کاملاً رشدیافته از نوک گیاه با استفاده از دستگاه قابل حمل (ADC bio Scientific Ltd., UK) در یک روز آفتابی (اواسط شهریورماه) و در هوای آزاد در شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا بین ساعت ۹:۳۰ تا ۱۱:۳۰ درحالی که دمای برگ بین ۲۰ تا ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد بود، انجام گرفت. کارایی مصرف آب گیاه براساس نسبت مقدار فتوسنتز به‌مقدار تعرق محاسبه شد (Zhang et al., 2005). محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه (Model SPAD 502 Minolta, Japan) از برگ‌های قسمت بالایی نهال (از هر نهال سه برگ از یک‌پنجم بالایی) تعیین شد (Marcelo & Bruce, 2010).

جدول ۳- مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای پروژه واقع در اراضی زراعی حاشیهٔ جنگل فندقلو

Table 3. Physical and chemical teaits of the soil site located in the agricultural lands on the edge of Fandglou forest

عمق خاک soil depth (cm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC(ds/m)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک soil texture	مواد آلی O (%)	ازت N(%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)
0-20	6.45	0.433	38	30	32	clay-loamy	1.36	0.12	11,22	111
20-40	7.16	0.266	18	38	46	Sandy-loamy	0.98	0.10	16.07	158

شکل ۱- اندازه‌گیری ارتفاع نهال فندق در عرصه

Figure 1. Measuring the height of hazelnut seedlings in the field

شکل ۲- نمایی از رویش ارتفاعی نهال فندق با مبدأ فندقلوی اردبیل با مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری در عرصه در سال چهارم کاشت (مهر ۱۴۰۰)

Figure 2. A view of the height growth of hazelnut seedlings with the origin of Ardabil hazelnuts with the combined inoculation of three bacteria in the field in the fourth year of planting (October 2021)

روش تحلیل

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نرمال بودن داده‌ها براساس آزمون شاپیرو- ویلک و همگنی واریانس داده‌ها از طریق آزمون لون تعیین شد. برای بررسی تأثیر معنی‌داری تیمارهای اصلی و تأثیر متقابل آنها بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیک نهال‌ها از آزمون آنالیز واریانس دوطرفه و برای مقایسهٔ میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد استفاده شد.

نتایج

زنده‌مانی و صفات رویشی

نتایج واریانس نشان داد که همهٔ صفات بررسی‌شده، تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند به‌طوری که اثرات اصلی مبدأ نهال و باکتری بر همهٔ صفات مورد بررسی غیر از زی‌تودهٔ ساقه و برگ نهال‌ها در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مبدأ نهال× باکتری بر صفات درصد زنده‌مانی، زی‌تودهٔ ساقه و برگ نهال‌ها در سطح ۵ درصد و برای رویش قطری یقه، ارتفاعی و زی‌تودهٔ ریشه نهال‌های فندق در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

اندازه زنده‌مانی نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو (۴۹/۷ درصد) بیش از نهال‌های فندق با مبدأ مکش (۴۰/۱ درصد) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری (*P. putida* + *B. subtilis* + *E. cloacae*) بیش از دیگر تیمارها بود. به‌طوری که نهال‌های مایه‌زنی‌شدهٔ ترکیبی با مبدأ فندقلو ۶۴/۵ درصد و مکش ۵۸/۴ درصد زنده‌مانی بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل ۳).

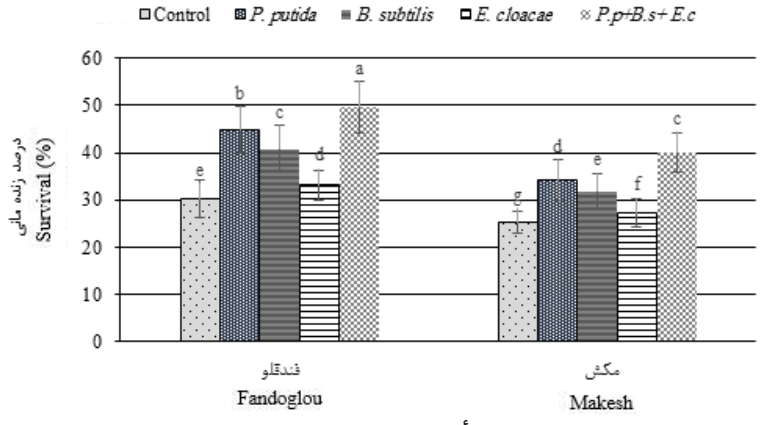
جدول ۴- تجزیهٔ واریانس اثر مبدأ نهال و باکتری بر صفات رویشی نهال‌های فندق در سال چهارم

Table 4. Variance analysis of the effect of seedling origin and type of bacteria on growth traits of hazelnut seedlings in the fourth year

منابع تغییرات variation Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square					
		زنده‌مانی Survival	رویش قطر یقه Collar diameter increment	رویش ارتفاعی height increment	زی‌تودهٔ ریشه Root mass	زی‌تودهٔ ساقه stem mass	زی‌تودهٔ برگ leaf mass
مبدأ نهال Seedling origion	1	136.09*	23.01**	323.66*	402.32*	65.71ns	123.39ns
باکتری Bacteri	4	167.22*	49.83ns	98.03**	296.12*	79.73**	93.02*
مبدأ نهال × باکتری Seedling origion× Bacteri	4	840.60*	10.24**	51.72**	566.30**	19.37*	69.52*
خطای آزمایشی Error	20	15.21	3.31	0.18	10.83	5.80	6.38
خطای کل Total error	29	-	-	-	-	-	-

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار.

**and * ns significant at 1 and 5% respectively, ns: non-significant.



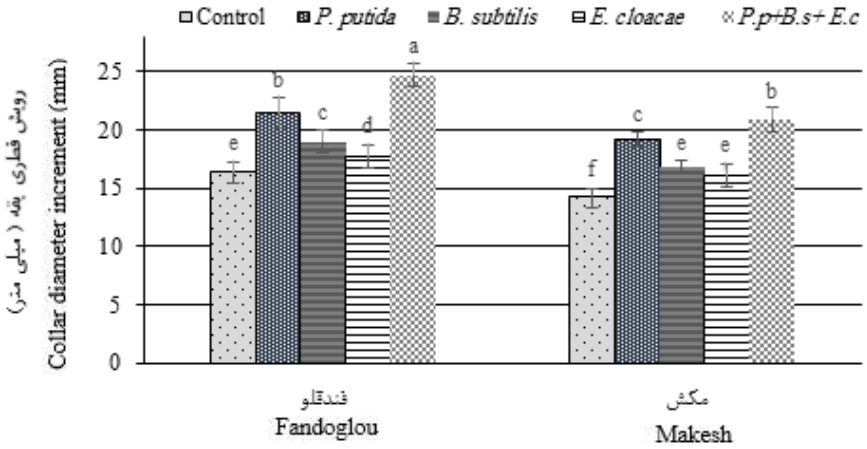
شکل ۳- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × نوع باکتری بر درصد زنده‌مانی نهال‌های فندق.

میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 3. Comparison of the mean of interaction effect of seedling origin × bacteria on survival (%) of hazelnut seedlings. Means with the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level

رویش قطر یقهٔ نهال‌های مبدأ فندقلو (۲۴/۷ میلی‌متر) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۲۰/۹ میلی‌متر) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری بیش از تیمارهای دیگر بود. به‌طوری که نهال‌های مایه‌زنی‌شدهٔ ترکیبی مبدأ فندقلو ۵۱/۱ درصد و مکش ۴۶/۵ درصد رویش قطری یقهٔ بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل۴).

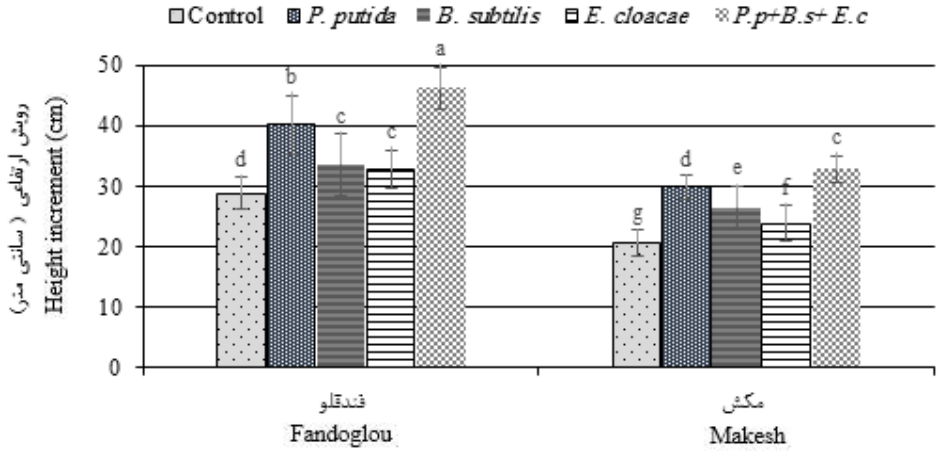
رویش ارتفاعی نهال‌های مبدأ فندقلو (۴۶/۳ سانتی‌متر) بیش از نهال‌های مبدأ مکش (۳۲/۸ درصد) و اثر افزایشی تیمار مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری بیش از دیگر تیمارها بود. به‌طوری که نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو ۶۰/۴ درصد و مکش ۴۸/۸ درصد رویش ارتفاعی بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد خود داشتند (شکل۵).



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × باکتری بر رویش قطر یقهٔ نهال‌های فندق

میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 4. Comparison of the mean of interaction effect of seedling origin × bacteria on the growth of the collar diameter increment of hazelnut seedlings. Means with the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level



شکل ۵- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل مبدأ نهال × باکتری بر رویش ارتفاعی نهال‌های فندق

میانگین‌های دارای حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال خطای ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 5. Comparison of the mean of interaction effect of seedling origin × bacteria on height increment of hazelnut seedlings. Means with the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level

بیشترین مقدار زی‌تودهٔ ریشه، ساقه و برگ به‌ترتیب با ۲۸/۳۳، ۲۲/۰۴ و ۸/۱۱ گرم در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو در تیمار مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری مشاهده شد که به‌ترتیب ۸۵/۶، ۷۵/۱ و ۶۸/۲ درصد در مقایسه با شاهد (نهال‌های مایه‌زنی نشده مبدأ فندقلو) افزایش وزن داشتند (جدول ۵).

صفات فیزیولوژی

اثر اصلی مایه‌زنی باکتری برای همهٔ صفات (به‌جز هدایت روزنه‌ای و تعرق) در سطح خطای ۵ درصد و اثرهای متقابل مبدأ نهال و تلقیح باکتری بر همهٔ صفات بررسی‌شده در سطح خطای کمتر از ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین ± خطای معیار اثر متقابل مبدأ نهال × باکتری بر زی‌تودهٔ خشک ریشه، ساقه و برگ نهال‌های فندق

Table 5. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × bacteria on root, stem and leaf dry mass of hazelnut seedlings

مبدأ نهال Seedling origion	تیمار Treatment: باکتری Bacteri	زی‌تودهٔ خشک dry mass (g): ریشه Root	ساقه Stem	برگ Leaf
Fandoglou فندقلو	Controlشاهد	15.26±2.83 g	12.79±2.10 e	4.82±0.44 d
	P. putida	26.84±3.89 b	20.32±3.72 b	7.34±0.63 ab
	B. subtilis	24.13±4.33 c	18.13±4.29 c	4.86±0.55 b
	E. cloacae	19.34±3.14 e	16.45±2.87 d	5.13±0.42 c
	تلفیق سه باکتری Combination of three bacteria	28.33±5.07 a	22.04±4.23 a	8.11±0.81 a
Makesh مکش	Controlشاهد	14.09±3.04 h	12.11±2.70 e	4.09±0.23 d
	P. putida	24.30±4.95 c	17.71±4.15 c	6.36±0.46 b
	B. subtilis	21.05±2.50 d	15.09±2.03 d	5.90±0.82 cd
	E. cloacae	16.16±2.23 f	11.73±1.90 e	4.21±0.32 d
	تلفیق سه باکتری Combination of three bacteria	26.07±4.91 b	20.64±3.22 b	7.60±1.01 ab

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

In each column, the averages that have common letters do not have a statistically significant difference at the five percent probability level.

جدول ۶- تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) اثر مبدأ نهال و باکتری بر صفات فیزیولوژیک نهال‌های فندق

Table 6. Analysis of variance (mean square) of the effect of seedling origin and bacteria on physiological traits of hazelnut seedlings

منابع تغییرات variation Source	درجهٔ آزادی df	فتوسنتز Photosynthesis	هدایت روزنه‌ای Stomatal conduction	تعرق transpiration	کارایی مصرف آب Water efficiency	محتوای کلروفیل Chlorophyll content
مبدأ نهال Seedling origion	1	33.02*	54.90*	65.61*	3.39 ns	25.62*
باکتری Bacteria	4	63.35**	4.44 ns	23.65**	2.28 ns	28.98*
مبدأ نهال × باکتری Seedling origion× Bacteri	4	30.50*	49.08*	61.12*	19.45**	17.67**
خطای آزمایشی Error	20	343.76	0.05	101.85	123.11	1894.8
خطای کل Total error	29	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	12.65	19.12	23.33	17.54	16.40

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns: نبود اختلاف معنی‌دار.

**and * ns significant at 1 and 5% respectively, ns: non-significant.

در نهال‌های فندق مبدأ فندقلو با مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری، بیشترین نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارایی مصرف آب و درصد کلروفیل به‌ترتیب با ۱۵/۸۸ میکرومول مربع بر ثانیه، ۰/۲۲۶ مول‌متر مربع بر ثانیه، ۶/۷۴ میکرومول مربع بر ثانیه و ۲۷/۴۵ درصد به‌دست آمد. در این نهال‌ها، نرخ فتوسنتز ۴۹/۹ درصد، هدایت روزنه‌ای ۵۸/۰۴ درصد، کارایی مصرف آب ۱۲۱/۷۱ درصد و محتوای کلروفیل ۴۶/۸ درصد در مقایسه با شاهد (نهال‌های مایه‌زنی‌نشدهٔ مبدأ فندقلو) افزایش داشتند (جدول ۷).

جدول۷- مقایسهٔ میانگین ± خطای معیار اثر متقابل مبدأ نهال× باکتری بر صفات فیزیولوژیک نهال‌های فندق

Table 7. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × bacteria on the physiological traits of hazelnut seedlings

تیمار Treatment		تبادلات گازی Gas exchanges				
مبدأ نهال Seedling origion	باکتری Bacteria	فتوسنتز Photosynthesis ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conduction ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تعرق transpiration ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	کارایی مصرف آب Water efficiency ($\mu mol\ mmol^{-1}$)	محتوای کلروفیل Chlorophyll content (%)
فندقلو Fandoglou	شاهد Control	10.66±1.11 ef	0.143±۰/۰۰۹ e	3.51±0.41 ab	3.04±0.95 d	18.70±2.05 e
	P. putida	15.08±2.22 ab	0.201±0.002 ab	2.30±0.11 f	6.15±0.51ab	26.66±2.56 ab
	B. subtilis	14.39±1.89 b	0.197±0.009 ab	2.44±0.56 ef	5.89±0.40 b	24.35±2.98 b
	E. cloacae	13.08±1.21 cd	0.174±0.oo7 c	2.49±0.89 def	5.25±0.41 bc	24.32 ±3.76 b
	تلفیق سه باکتری Combination of three bacteria	15.88±2.67 a	0.226±0.009 a	2.38±0.23f	6.74±0.76 a	27.45±3.42 a
مکش Makesh	شاهد Control	9.11±1.34 f	0.159±0.007 d	3.85±0.11 a	2.36±0.41 e	17.22±2.40 f
	P. putida	13.63±1.22 c	0.181±0.009 b	2.80±0.43de	4.86±1.76 bc	23.49±2.43 bc
	B. subtilis	11.85±1.11 de	0.181±0.013 b	2.89±0.51 cd	4.10±0.97bcd	22.82±2.62 c
	E. cloacae	11.24±1.57def	o.178±0.012 b	2.93±0.45c	3.86±1.01 cd	20.16±2.56 d
	تلفیق سه باکتری Combination of three bacteria	13.88±1.11c	0.181±0.013 b	2.84±0.51 de	4.55±0.97 bc	24.84±2.62b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

In each column, the averages that have common letters do not have a statistically significant difference at the five percent error probability level.

بحث

تحقیق حاضر با هدف تعیین اثر باکتری‌های محرک رشد بر صفات رویشی و فیزیولوژی نهال‌های فندق از دو مبدأ در شرایط عرصه (اراضی زراعی حاشیهٔ جنگل فندقلوی اردبیل) طی چهار سال بررسی شد. نتایج نشان داد که مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش ۵۱ و ۶۰ درصدی، به‌ترتیب در رشد ارتفاعی و قطر یقهٔ نهال‌ها با مبدأ فندقلو شد. محققان زیادی، افزایش رشد ارتفاعی و قطر یقه در بسیاری از گونه‌ها را در پی مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گزارش کرده‌اند که با یافته‌های ما مطابقت دارد. در این زمینه می‌توان به گزارش‌های منتشرشده پیرامون افزایش زنده‌مانی نهال‌های تلقیح‌شده (۲۲ تا ۹۴ درصد) و زی‌تودهٔ خشک ریشه (۴۷ تا ۷۰ درصد) نوئل هیبرید *Picea glauca x engelmannii* مایه‌زنی‌شده با باکتری‌های *Pseudomonas putida* و *Hydrogenophaga pseudoflava* (Chanway et al., 1993)، پاسخ مثبت دو *گونهٔ Quercus coccifera* و *Pinup halepensis* به تلقیح باکتری رشد *Pseudomonas fluorescens* و افزایش پارامترهای رویشی گیاه، غلظت عناصر غذایی، نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آبی نهال‌ها (Rincon et al., 2008)، افزایش رشد ساقه و تعداد خوشهٔ بوتهٔ تمشک با مایه‌زنی دو سویهٔ (OSU-142 و M_3) باکتری *Bacillus* (Orhan et al., 2006)، افزایش محصول، وزن میوه و طول ساقهٔ درختان سیب

(*Malus domestica* L.) با مایه‌زنی سویه‌های Bacillus M3، Bacillus OSU-142 و Microbacterium FS01 (Karlidag et al., 2007)، افزایش رشد ارتفاعی (۵۶/۸ درصد) و محیط ساقه (۵۸/۲ درصد) با تلقیح باکتری *Frankia* روی قلمه‌های ریشه‌دارشدهٔ گونهٔ *Casuarina equisetifolia* (Karthikeyan et al., 2013) و افزایش رشد رویشی *Casuarina obesa* با مایه‌زنی باکتری‌های *Pantoea agglomerans* و *Bacillus* sp. (Diagne et al., 2020) اشاره کرد. در حقیقت، باکتری‌های محرک رشد می‌توانند از طریق بهبود فرایندهای فیزیولوژیک نهال‌ها، سبب افزایش رشد شوند و به‌تبع آن امکان استقرار و زنده‌مانی نهال‌ها را افزایش دهند (Rincon et al., 2006).

مقایسهٔ میانگین صفات رویشی نشان داد که پاسخ نهال‌های فندق هر دو مبدأ تحت تأثیر مایه‌زنی باکتری متفاوت است و نهال‌های مبدأ فندقلو بیش از نهال‌های مبدأ مکش افزایش رشد داشتند. دلیل این برتری را می‌توان به خصوصیات ژنتیکی، شرایط رویشگاهی و تغذیه‌ای پایه‌های مادری که بذر از آنها جمع‌آوری شده است مرتبط دانست (Tabari et al., 2018; Kouchaksaraei et al., 1993; Rincon et al., 2008; Teimouri et al., 2018;). نتایج نشان داد که مایه‌زنی مجزای هر یک از باکتری‌ها بر رشد و بهبود صفات رویشی و فیزیولوژی نهال‌های فندق تأثیر کمتری از کاربرد ترکیبی آنها داشت. این نتایج اثر هم‌افزایی باکتری‌ها را تأیید می‌کند که می‌توان به مایه‌زنی ترکیبی سویه‌های باکتری‌های *Pseudomonas aureofaciens* strain K23 و *Arthrobacter oxydans* strain N74 روی تعداد شاخه و وزن خشک ریشهٔ نهال‌های *Pseudotsuga menziesii* (Chanway & Holl, 1994)، کاربرد ترکیبی سویه‌های Bacillus M3، Bacillus OSU-142 و Microbacterium FS01 بر عملکرد، طول ساقه و وزن میوهٔ درختان Malus domestica (Karlidag et al., 2007) اشاره کرد که بیشترین تأثیر را در مقایسه با تلقیح مجزای باکتری‌ها داشته‌اند. یافته‌های (Rostamikia, et al., 2017) نیز نشان داد که مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae* روی نونهال‌های فندق در شرایط نهالستان فندقلوی اردبیل بر ارتفاع، قطر یقه و سطح برگ نونهال‌های فندق بیشترین اثر را داشته است. به‌عبارت دیگر این پژوهش تأیید کرد که مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد، هم در شرایط نهالستان و هم در شرایط عرصهٔ طبیعی، اثر مثبتی بر بهبود صفات رویشی نهال‌های فندق داشته است. با توجه به اینکه باکتری‌ها در طبیعت همراه گونه‌های دیگر وجود دارند و عمل می‌کنند، مایه‌زنی آنها به‌صورت ترکیبی از مایهٔ تلقیح‌های مختلف می‌تواند سبب تشدید اثر آنها در جذب عناصر تغذیه‌ای، توسعهٔ سیستم ریشه‌دوانی و بهبود صفات رویشی نهال‌ها (Esitken et al., 2010) و حذف اثرهای مضر احتمالی باکتری‌ها بر یکدیگر و تولید هورمون‌ها در اطراف ریشهٔ نهال‌ها شود (Peyvand et al., 2010; Hojjat Noughi et al., 2013).

صرف‌نظر از مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری، براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین مقدار صفات رویشی نهال‌های هر دو مبدأ در مایه‌زنی مجزای باکتری *P. putida* در مقایسه با باکتری‌های *B. subtilis* و *E. cloacae* مشاهده شد. محققان زیادی اثر مثبت باکتری‌های جنس *Pseudomonaceae* را بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و عناصر تغذیه‌ای (به‌ویژه فسفر) گزارش کرده‌اند (Rincon et al., 2006; Karakurt & Aslantas, 2010; Teimouri et al., 2018). همچنین ثابت شده است که بهبود صفات رویشی نهال‌های مایه‌زنی‌شده با باکتری‌های جنس *Pseudomonaceae* از طریق تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن (Vejan et al., 2016) و سنتز

آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، انجام می‌گیرد (De Lima et al., 2019; Kalam et al., 2020).

تحقیق حاضر نشان داد که صفات فیزیولوژیک نهال‌های فندق (هر دو مبدأ) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار تلقیح باکتری قرار گرفتند، به‌طوری که بیشترین نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل با مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری (*P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae*) در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلوی اردبیل مشاهده شد. در این خصوص، می‌توان به افزایش نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گونه‌های *Quercus coccifera* و *Pinus halepensis* در پی مایه‌زنی با باکتری *Pseudomonas* (Rincon et al., 2008) توجه داد که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر است. به‌نظر می‌رسد که باکتری‌های محلول‌کنندهٔ فسفات از قبیل *P. putida* و *B. subtilis* با افزایش سنتز آنزیم فسفاتاز، امکان دسترسی به فسفر (که اثر مهمی در فتوسنتز گیاهان دارد) را افزایش می‌دهند (Kumar et al., 2010). باکتری‌ها با بهبود هدایت آبی و خاصیت اسمزی و افزایش جذب آب نیز به باز ماندن روزنه‌های برگ در گیاه کمک می‌کنند که در نهایت، سبب افزایش فتوسنتز گیاه می‌شود (Babaei et al., 2021).

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار زی‌تودهٔ خشک‌ریشه، برگ و ساقه و کارایی مصرف آب تا حد زیادی در نهال‌های با مبدأ فندقلوی اردبیل در تیمار مایه‌زنی ترکیبی سه باکتری در مقایسه با شاهد (بدون مایه‌زنی) مشاهده شد که با یافته‌های (Chanway et al., 1993) مبنی بر استفاده از باکتری‌های *Pseudomonas putida* و *Hydrogenophaga pseudoflava* در افزایش زی‌تودهٔ خشک ریشهٔ نهال‌های نوئل هیبرید *Picea glauca x engelmannii* مطابقت دارد. در تحقیقات متعددی از گونه‌های مختلف *Pseudomonadaceae* و *Bacillus* برای افزایش زی‌تودهٔ خشک ریشه، سطح برگ، بهبود سیستم ریشه‌ای و پتانسیل آبی نهال‌های سیب (Karakurt & Aslanta, 2010)، بلوط (Teimouri et al., 2018) و کاج (Rincon et al., 2008) استفاده شده است. باکتری‌های محرک رشد با بهبود و توسعهٔ سیستم ریشه‌ای و در نتیجه فراهمی رطوبت و افزایش بازده جذب آب توسط ریشه بر رشد گیاه مؤثرند و از این طریق موجب بهبود کارایی مصرف آب می‌شوند (Ahemad & Khan, 2012).

در مجموع می‌توان اظهار داشت که با توجه به تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد در بهبود رشد ارتفاعی، قطر یقه و شاخص‌های فیزیولوژیک نهال‌های فندق، مایه‌زنی نهال‌های فندق در نهالستان می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش موفقیت نهالکاری‌های آن در عرصه باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله تشکر و قدردانی خود را از مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور بابت حمایت مالی از این پژوهش اعلام می‌دارند.

References

Ahemad, M., & Khan, M.S. (2012). Effect of fungicides on plant growth promoting activities of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* isolated from mustard (*Brassica compestris*) rhizosphere. *Chemosphere*, *86*, 945–950. https://doi.org / 10.1016/j.chemosphere.2011.11.013

Babaei, L., Sharifani, M.M., Darvishzadeh, R., Naser Abbaspour, N., & Henareh, M. (2021). Impact of Drought Stress on Photosynthetic Response of Some Pear Species. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *8(4)*, 353-369. (In Persian)

Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., & El Enshasy, H. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bio inoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. *Sustainability*, *13*, 1140-1160. https://doi.org / 10.3390/su13031140

Chanwacy, C.P., & Holl, F.B. (1993). First year field performance of spruce seedlings inoculated with plant growth promoting rhizobacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, *39*, 1084-1088.

Chanway, C.P., & Holl, F.B. (1994). Ecological growth response specificity of two Douglas-fir ecotypes inoculated with coexistent beneficial rhizosphere bacteria. *Canadian Journal of Botany*, *72*, 582–586.

Clark, J.R., Hemery, G.E., & Savill, P.S. (2008). Early growth and form of common walnut (*Juglans regia* L.) in mixture with tree and shrub nurse species in southern England. *Forestry*, *81(5)*, 631-644. https://doi.org/10.1093/forestry/cpn036

Cely, M.V.T., Siviero, M.A., Emiliano, J., Spago, F.R., Freitas, V.F., Barazetti, A.R., Goya, E.T., de Souza Lamberti, G., dos Santos, I.M.O., De Oliveira, A.G., & Andrad, G. (2016). Inoculation of *Schizolobium parahyba* with mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria increases wood yield under field condition. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 170- 178. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01708

De Lima, B.C., Moro, A.L., Santos, A.C.P., Bonifacio, A., Araujo, A.S.F., & de Araujo, F.F. (2019). *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. *Journal of Plant Interact*, *14*, 432–439. doi: 10.1080/17429145.2019.1645896

Diagne, N., Ndour, M., Ibrahima Djighaly, P., Ngom, D., Claver Ndébane Ngom, M., Ga Ndong, G., Svistoonoff, S., & Cherif-Silini, H. (2020). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on salt stress tolerance of *Casuarina obesa* (Miq.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 1-8. doi: 10.3389/fsufs.2020.601004

Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, *124*, 62-66. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012

Espahbodi, K. (2020). The need to pay attention to seed production area in the forest development program. *Iran nature*, *5(2)*, 17-21. (In Persian)

Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S., & Patra, J.K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiology Resource Announcements*, *206*, 131–140. https://doi.org/ 10.1016/j.micres.2017.08.016

Hojjat Noughi, F., Akhgar, A.R., Esfandiarpour, E., & Khavazi, K. (2013). Evaluation of Population and Properties of PGPB of Endorhizosphere, Rhizosphere and Nonrhizosphere in Pistachio Seedlings. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*, *23(4)*,215-234. (In Persian)

Kalam, S., Basu, A., & Podile, A.R. (2020). Functional and molecular characterization of plant growth promoting Bacillus isolates from tomato rhizosphere. *Heliyon*, *6*, 34-47. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04734

Karakurt, H., & Aslantas, R. (2010). Effect of some Plant Growth Promoting bacteria strains on plant growth and leaf nutrient content of apple. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, *18*, 101-110.

Karthikeyan, A., Chandrasekaran, K., Geetha, M., & kalaiselvi, R. (2013). Growth response of *Casuarina equisetifolia* Forst. rooted stem cuttings to Frankia in nursery and field conditions. Journal of Bioscience, *38(4)*, 741–747. https://doi.org/10.1007/s12038-013-9362-3.

Kumar, V., Behl, R.K., & Narula, N. (2010). Establishment of phosphate solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under greenhouse conditions. *Microbiology Resource Announcements*, *156*, 87–93. https://doi.org/ 10.1078/0944-5013-00081

Karlidag, H., Esitken, A., Turan, M., & Sahin, F. (2007). Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple. *Scientia Horticulturae*, *114*, 16 – 20. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.04.013.

Marcelo, S.M., & Bruce, S. (2010). Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. *Environmental and Experimental Botany, 12*, 24-31. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.11.007

Orhan, E., Estitken, A., Ercisli, S., & Sahin, F. (2006). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae, 111(1),* 38-43. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.09.002

Rezaee, K., Zolfaghari, R., & Naghiha, R. (2017). Isolation, characterization, and influence of native rhizobacteria on growth of Brant's Oak (*Quercus brantii* Lindl.) seedlings. *Iranian Journal of Forest, 9(3)*,399-409. (In Persian)

Rincon, A., Valladares, F., Gimeno, T.E., & Pueyo, J.J. (2008). Water stress responses of two Mediterranean tree species influenced by native soil microorganisms and inoculation with a plant growth promoting rhizobacterium. *Tree Physiology, 28*, 1693-1701. https://doi.org/ 10.1093/treephys/28.11.1693

Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., & Rahmani, A. (2017). Effect of Growth Promoting Rhizobacteria on growth and nutrient elements of common hazelnut (*Corylus avellana* L.) seedlings in Ardabil Fandoqlou nursery. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(1)*, 116-126. https://doi.org/10.18869/modares.ecopersia.4.3.1471. (In Persian)

Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., & Rahmani, A. (2018). Effect of cold stratification on seed germination traits in three ecotypes of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Forest and Wood Products, 71(1)*,1-12. https://doi.org/10.22059/jfwp.2018.140437.696. (In Persian)

Rostamikia, Y., & Shsrifi, J. (2019). The Fandoglu Forest, the largest common hazel forest reserve in Iran. *Journal of Iran Nature, 6(3),* 90-99. In persian

Santos R. M., Kandasamy S., & Rigobelo E. C. (2018). Sugarcane growth and nutrition levels are differentially affected by the application of PGPR and cane waste. *Microbiology,* 7:e00617. https://doi.org/10.1002/mbo3.617.

Tabari Kouchaksaraei, M., Amini, A., Hosseini, S.M., & Yousefzadeh, H. (2018). Effect of provenance and chemical treatments on the germination characteristics in immature seed of linden. *Iranian Journal of Forest, 10(3)*,337- 446. (In Persian)

Teimouri, M., Khoshnevis, M., Sadeghzadeh Hallaj, M.H., Alizadeh, T., Matinizadeh, M., & Pourhasehemi, M. (2018). Studying the application of growth promoting rhizobacteria in rehabilitation of oak forests (Case study: Garan Research Station, Marivan). *Iranian Journal of Forest, 10(3),* 361-371. (In Persian)

Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability - A review. *Molecules, 21,* 573. https://doi.org/ 10.3390/molecules21050573

Zhang, X., Wu, N., & Li, C. (2005). Physiological and growth responses of *Populus davidiana* ecotypes to different soil water contents. *Arid Environments, 60,* 567-579.https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.07.008

Iranian Journal of Forest
Vol. 15, No. 2, Summer 2023
pp. 211-225

DOI: 10.22034/ijf.2022.344665.1872
DOR: 20.1001.1.20086113.1402.15.3.6.3

Research Article

Improvement of growth -physiological traits of hazelnuts provenances inoculated with growth promoting bacteria under field conditions

Y. Rostamikia[1]*, A. Rahmani[2] , and M. Teimouri[3]

[1] Assist., Prof., Forests and Rangelands Research Dept. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, I.R. Iran.
[2] Associate Prof., Forest Research Dept. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran.
[3] Assist Prof., Forest Research Dept. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran.

(Received: 30 May 2022; Accepted: 8 October 2022)

Abstract

The slow growth of hazelnut seedlings, particularly during the initial years of afforestation, hampers the rehabilitation and development programs of hazelnut forests. In this context, biological fertilizers, especially plant growth-promoting bacteria, can be an effective strategy to enhance the growth and physiological traits of hazelnut seedlings. In May 2017, new hazelnut potted seedlings from two seed sources - Fandoglou (Ardabil Fandoglou forest) and Makesh (Aghvalar Guilan forest) - were propagated in an Ardabil hazelnut nursery. These seedlings were inoculated separately and in combination with *Pseudomonas putida* DSM291, *Bacillus subtilis* FzB24, and *Enterobacter cloacae* E1. In November 2017, the one-year-old hazelnut seedlings were transferred to agricultural lands bordering the Fandoglou forest. The seedlings were planted in rain-fed conditions following a randomized complete block design with three replications of 12 based on two factors: fertilization and seed origin. After four years, it was observed that inoculated seedlings from both origins outperformed non-inoculated ones in all investigated traits. The largest parameters of the studied variables were attributed to the Fandoglou-origin seedlings inoculated with a combination of three bacteria. These seedlings showed a survival rate of 49.7%, collar diameter growth of 51.1%, height growth of 60.4%, and dry mass increases in roots (85.6%), stems (75.1%), and leaves (68.2%). Additionally, photosynthesis increased by 49.9%, stomatal conductance by 58.04%, water consumption efficiency by 121.7%, and chlorophyll content by 46% compared to non-fertilized Fandoglou-origin seedlings. In conclusion, considering the role of the studied growth-promoting bacteria (especially the combined treatment) in enhancing the growth characteristics and physiology of hazelnut provenances, inoculating hazelnut seedlings with bacteria in nurseries can be a beneficial strategy for successful field transplantation.

Keywords: Collar diameter, Hazelnut, Growth promoting rhizobacteria, Stomatal conductance, Survival.

* Corresponding author Tel: +98 9141533776 Email: younesrostamikia@gmail.com