فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۵ شماره ۱، صفحه ۱۲۶-۱۱۶، (۱۳۹۶)

اثر باکتری‌های محرک رشد بر صفات رویشی و عناصر تغذیه‌ای نونهال‌های فندق (*Corylus avellana* L.) در نهالستان فندقلوی اردبیل

یونس رستمی‌کیا [۱]، مسعود طبری کوچکسرایی [۲*]، احمد اصغرزاده [۳] و احمد رحمانی [۴]

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. پست الکترونیک: mtabari@modares.ac.ir
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۱

چکیده

هدف از پژوهش پیش‌رو، بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر صفات رویشی (ارتفاع، قطر یقه، وزن خشک اندام زمینی و هوایی، زی‌توده خشک کل نونهال و شاخص کیفیت نونهال) و غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی) در برگ نونهال‌های فندق (*Corylus avellana* L.) بود. در شرایط نهالستان، تأثیر سه نوع باکتری *Pseudomonas putida*، *Bacillus subtilis* و *Enterobacter cloacae* به‌صورت مجزا و ترکیبی به‌مدت هفت ماه بر نونهال‌های فندق در گلدان‌های پلی‌اتیلنی حاوی خاک اتوکلاوشده بررسی شد. بر اساس نتایج، بیشترین اندازه ارتفاع، قطر یقه و سطح برگ به‌ترتیب با ۲۶/۸۸ سانتی‌متر، ۷/۱۷ میلی‌متر و ۲۳/۸۷ سانتی‌متر مربع و بیشترین غلظت نیتروژن (۲/۸۱ درصد) در تلقیح ترکیبی سه باکتری مشاهده شد. بیشترین وزن خشک ریشه، حجم ریشه، وزن خشک اندام هوایی، زی‌توده خشک کل نونهال، شاخص کیفیت نونهال و بیشترین غلظت فسفر با تلقیح مجزای باکتری *P. putida* به‌دست آمد. بیشترین مقدار غلظت آهن و روی به‌ترتیب در تلقیح با باکتری *B. subtilis* و *P. putida* مشاهده شد. در حالت کلی، با توجه به تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد در جذب عناصر غذایی، افزایش رشد قطری، ارتفاعی و شاخص‌های ریخت‌شناسی دیگر، به‌ترتیب باکتری‌های *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae* برای تلقیح نونهال‌های فندق توصیه می‌شوند. درحقیقت، تجهیز ریشه نونهال‌ها با باکتری‌های محرک رشد (مهندسی ریشه) می‌تواند راهکاری مناسب برای تولید نهال سالم و قوی در نهالستان و همچنین افزایش موفقیت نهال‌کاری در رویشگاه‌های آشفته و تخریب‌یافته این گونه باشد.

واژه‌های کلیدی: تلقیح باکتری، رشد، شاخص کیفیت نونهال، فندق.

مقدمه

فندق جنگلی (*Corylus avellana* L.) از تیره Corylacesae، درختچه‌ای به ارتفاع چهار تا هشت متر است که در سراسر اروپا، قفقاز و ایران انتشار دارد (Bombeli, 2002). در ایران، در جنگل‌های ارسباران (Yazdian & Marvi Mohajer, 2001)، فندقلوی اردبیل (Sabeti, 1994) و آق‌اولر تالش (Moraghebi, 2000) به‌صورت توده خالص و در جنگل‌های هیرکانی به‌صورت تک‌درخت پراکنش دارد (Sabeti, 1994; Mozaffarian, 2011).

یکی از تکنیک‌های زیستی برای تولید نهال سالم و قوی برای نهال‌کاری در رویشگاه‌های تخریب‌یافته، مهندسی ریشه نهال است که در آن نونهال‌های جنگلی با باکتری‌های ریزوسفری تلقیح می‌شوند. باکتری‌های محرک رشد گیاه گروهی از باکتری‌های ریزوسفری مفید هستند که می‌توانند به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم موجب افزایش رشد گیاه شوند (Glick, 1995). باکتری‌های ریزوسفری جنس سودوموناس، باسیلوس و انتروباکتر از طریق سازوکارهای مختلف ازجمله تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Kumar *et al*., 2008; Ahemad & Khan, 2012).

در دنیا تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر باکتری‌های ریزوسفری بر بهبود صفات رویشی گیاهان انجام شده است. Gutierrez-Manero و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که *Bacillus pumilus* و *licheniformis*. *B* با تولید و ترشح جیبرلین باعث افزایش طول ریشه و اندام هوایی توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa*) شدند. Rekha و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که باکتری‌های *Pseudomonas putida* و *B. subtilis* از طریق سنتز فیتوکروم‌ها، افزایش فراهمی مواد غذایی در محل، آسان کردن جذب مواد غذایی و کاهش سمیت فلزات سنگین در گیاه، باعث افزایش رشد ریشه و ساقه *Lectuca sativa* شدند. Mafia و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تأثیر انواع باکتری‌های محرک رشد ریشه بر گونه‌های مختلف اکالیپتوس نشان دادند که نهال‌های *E. cloeziana* و *E. grandis* در تلقیح با *Pseudomonas* sp.، نهال‌های *E. globulus* در تلقیح با *B. subtilis* و نهال‌های *E. urophylla* در تلقیح تلفیقی با *P. fulva*، *Pseudomonas* sp. و *B. subtilis* دارای بیشترین رشد بودند. Karakurt و Aslantas (۲۰۱۰) نیز با بررسی تأثیر چهار جدایه از باکتری‌های محرک رشد بر رشد پنج کولتیوار *Malus domestica* نشان دادند که بیشترین مقدار طول نونهال، قطر یقه و تعداد جست در تلقیح نونهال‌ها با *P. putida* BA-8 به‌دست آمد. Erturk و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که بیشترین قطر و ارتفاع نونهال، طول و تعداد شاخه و عناصر غذایی برگ از قبیل N، P، K، Ca، Mg، Fe، Cu، Mn، Zn و B در دو کولتیوار *Corylus colurna* با تلقیح باکتری‌های *B. atrophaeus*، *B. lentus*، *Stenotrophomones maltophilia* و *Acinetobacter calcoacticus* به‌دست آمد. Karličid و همکاران (۲۰۱۵) نونهال‌های اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) و نهال‌های دوساله کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) را با باکتری‌های محرک رشد (*B. licheniformis*، *P. putida* و *Aeromonas hydrophila*) به‌صورت ترکیبی در شرایط نهالستان تلقیح کردند و نشان دادند که ارتفاع و قطر ریشه نونهال‌ها و نهال‌هایی مورد مطالعه، رشد بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد داشت.

در داخل کشور نیز تحقیقات معدودی در رابطه با اثر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر نونهال‌های جنگلی انجام شده است. Teimouri و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که تلقیح باکتری‌های محلول‌کننده فسفات شامل *Psudomonas*، *Enterobacter*، *Actinobacillus*، *Pasturella* و *Alcaligenese* بر نونهال‌های پلت (*Acer velutinum*) سبب توسعه سیستم ریشه‌ای آنها در مقایسه با شاهد شد. Hasani و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تأثیر تلقیح سویه‌های *P. fluorescens* دارای توان تولید هورمون اکسین IAA و آنزیم ACC دآمیناز بر مورفولوژی ریشه و شاخص‌های رشد نونهال‌های پسته جنگلی (*Pistacia vera*) در شرایط گلخانه نشان دادند که سطح برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی نونهال‌ها نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت. Bahmani و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تلقیح *P. putida* بر جوانه‌زنی بذر و رشد رویشی نونهال‌های استبرق (*Calotropis procera*) تأثیر مثبت داشت.

در مدیریت نهالستان‌های جنگلی همواره سعی می‌شود نهال‌های تولیدشده از رشد و کیفیت مناسب برخوردار باشند (Rahmani *et al*., 2006). با توجه به تعدد صفات

ریخت‌شناسی مرتبط با ساختار افقی و عمودی نهال‌ها، برخی پژوهشگران بعضی از شاخص‌های ترکیبی را در این زمینه برشمرده‌اند که از آن‌جمله می‌توان به نسبت ریشه به ساقه و شاخص کیفیت نهال اشاره کرد که با استفاده هم‌زمان از مقادیر وزن خشک کل و نسبت ریشه به ساقه، برآورد مناسبی از پتانسیل رشد نهال در عرصه جنگل‌کاری ارایه می‌شود (Ahmadloo *et al*., 2012). نظر به اهمیت باکتری‌های مفید ریزوسفری در بهبود رشد و نیز افزایش غلظت عناصر غذایی در گیاه، پژوهش پیش‌رو با بررسی چگونگی نقش این میکروارگانیسم‌ها در بهبود صفات رشد و شاخص کیفیت نونهال و نیز تغذیه نونهال‌های جنگلی فندق، راهکارهای مدیریتی و کاربردی مناسبی برای تولید نهال مطلوب فندق در نهالستان جنگلی فندقلوی اردبیل ارایه داده است.

مواد و روش‌ها

محل پژوهش، نهالستان فندقلو در ۲۴ کیلومتری شرق اردبیل با ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا و اقلیم نیمه‌مرطوب سرد با سه ماه فصل خشک است (Moraghebi, 2000). نونهال‌های همگن (با ارتفاع سه سانتی‌متر) و گلدانی (به‌ابعاد ۲۰ × ۱۵ × ۱۵ سانتی‌متر) حاوی خاک استریل با مشخصات ذکرشده در جدول ۱ برای این منظور انتخاب شدند. این آزمایش در چهار تکرار و هشت نونهال در هر تکرار انجام شد (۳۲ نونهال در هر تیمار). به‌عبارت دیگر، در هر تیمار، ۳۲ گلدان استفاده شد. شایان ذکر است که برای حذف کلیه میکروارگانیسم‌های طبیعی و تعیین اثرات هریک از میکروارگانسیم‌های (باکتری‌های) مورد استفاده، خاک نهالستان در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت اتوکلاو شده بود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

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

زادمایه ریزوباکتریایی *P. putida* DSM291، FzB24 *B. subtilis* و *Enterobacter cloaca* با جمعیت 10^8 واحد کلنی سلول در هر میلی‌لیتر از بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد و براساس شیوه‌نامه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور درخصوص تلقیح نونهال با باکتری، عمق پنج سانتی‌متری خاک (اطراف ریشه نونهال‌ها) بستر کشت هر گلدان به حجم ۲۰ میلی‌لیتر واحد کلنی با باکتری‌های *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae* به‌صورت ساده و تلفیق سه باکتری (به‌نسبت مساوی) در اواسط اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۴ آغشته شد. در انتهای فصل رویش (هفت ماه پس از تلقیح) اندازه‌گیری‌های صفات رویشی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات رویشی نونهال‌ها

برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر یقه نونهال از هر تکرار چهار نونهال و در مجموع ۱۶ نونهال از هر سطح تیمار (نوع باکتری) به‌طور تصادفی انتخاب شدند و به‌ترتیب با خط‌کش مدرج (دقت میلی‌متر) و کولیس (دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری صفات رویشی دیگر از هر تکرار سه نونهال و در مجموع ۱۲ نونهال از هر سطح تیمار به‌طور تصادفی انتخاب شدند. اندازه‌گیری زی‌توده ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد. برای اندازه‌گیری زی‌توده خشک اندام زمینی و هوایی و کل نونهال‌ها، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شده و سپس دوباره اندازه‌گیری شدند (Yang *et al*., 2007).

برای تعیین سطح برگ، ابتدا سه برگ سالم و کامل توسعه‌یافته از بالاترین قسمت هر نونهال برداشت شد و با دستگاه سطح برگ‌سنج اندازه‌گیری شد. سطح ویژه برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. در این رابطه SLA سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع بر گرم)، LA سطح برگ و LW وزن خشک برگ است (Arias *et al*., 2007).

$$SLA = \frac{LA(cm^2)}{LW(g)} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

برای تعیین حجم ریشه نونهال‌ها، ابتدا گلدان‌ها در ظرف آب قرار داده شدند. پس از شستشوی کامل ریشه‌ها در سطح شیب‌دار، در استوانه مدرج قرار داده شده و از اختلاف جابه‌جایی آب، حجم ریشه برحسب سانتی‌متر مکعب برآورد شد. شاخص کیفیت نونهال برای هر سطح تیمار با استفاده از رابطه ۲ (Dickon *et al*., 1960) محاسبه شد که یک ابزار ساده برای ارزیابی کیفیت نونهال است (Ahmadloo *et al*., 2012). در این رابطه، ماده خشک کل نونهال (TDM)، ارتفاع ساقه (SH)، قطر ساقه (SBD)، ماده خشک ساقه (SDM) و ماده خشک ریشه (RDM) درنظر گرفته شد.

$$DQI = \frac{TDM(g)}{\frac{SH(cm)}{SBD(mm)} + \frac{SDM(g)}{RDM\ (g)}} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی برگ

نمونه‌برداری برگ در اواسط مرداد (اوج رشد برگ) انجام شد. از هر تکرار سه نونهال انتخاب شد و از هر نونهال سه برگ برداشت شد. نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد حداقل به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس با دستگاه آسیاب پودر شدند و غلظت عناصر غذایی پرمصرف (ازت، فسفر و پتاسیم) آنها اندازه‌گیری شد. ازت بعد از هضم یک گرم از نمونه در اسید سولفوریک غلیظ به روش کجلدال، فسفر به روش وانادو- مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Jackson, 1967) و پتاسیم به روش تهیه خاکستر و عصاره‌گیری با اسیدنیتریک غلیظ با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Issac & Johnson, 1975) اندازه‌گیری شدند. یک گرم از وزن خشک برگ در لوله‌های مخصوص هضم ریخته شد و ۱۰ میلی‌لیتر سیدنیتریک به آن اضافه شد و به‌مدت سه تا چهار ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. محلول پس از سرد شدن و صاف کردن، به حجم ۲۵ میلی‌لیتر بالون ژوژه رسانده شد. آن‌گاه غلظت آهن و روی با رسم خط استاندارد و استانداردسازی توسط دستگاه جذب اتمی مدل P.U.9400 ساخت کشور فیلیپین قرائت شد (Emami, 1996).

طرح آزمایشات و تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی با پنج سطح تیمار و چهار تکرار هشت‌تایی (۳۲ نونهال گلدانی در هر سطح تیمار) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف- سمیرنوف بررسی شد. برای تعیین معنی‌دار بودن اثر تیمارها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شد.

نتایج

صفات رویشی نونهال‌ها

نتایج نشان داد که تلقیح باکتری بر همه صفات مورد بررسی (به‌جز غلظت پتاسیم برگ) تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع و قطر یقه نونهال به‌ترتیب با ۲۶/۸۸ سانتی‌متر و ۷/۱۷ میلی‌متر در تلقیح تلفیقی سه باکتری (*P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae*) به‌دست آمد (جدول ۳). اندازه سطح برگ در تلقیح مجزا و ترکیبی باکتری‌ها نسبت به شاهد بزرگتر بود. بیشترین مقدار وزن خشک ریشه با ۳/۹۸ گرم، اندام هوایی با ۶/۰۱ گرم، کل نهال با ۹/۹۱ گرم، حجم ریشه با ۱۰/۸۷ سانتی‌متر مکعب و شاخص کیفیت نونهال (۲/۰۴) در تلقیح با باکتری *P. putida* و بیشترین مقدار نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی با ۰/۷۳ در تلقیح باکتری *B. subtilis* مشاهده شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تلقیح باکتری بر صفات رویشی نونهال و جذب عناصر در برگ نونهال‌های فندق جنگلی

منبع تغییرات	میانگین مربعات	ضریب تغییرات
ارتفاع	۷۹/۶۹**	۱۰/۶۹
قطر یقه	۲/۸۱*	۱۴/۱۱
سطح برگ	۴۷/۱۹**	۱۰/۳۷
سطح ویژه برگ	۳۰۱/۳**	۱۲/۷۷
وزن خشک ریشه	۱/۶۶**	۱۷/۰۶
وزن خشک اندام هوایی	۱/۴۸**	۱۱/۸۷
وزن خشک ریشه به اندام هوایی	۱/۰۳*	۸/۶۸
وزن خشک کل نهال	۹/۷۴*	۱۳/۹
حجم ریشه	۴/۸۵**	۱۵/۷۸
شاخص کیفیت نونهال	۱/۵۴*	۹/۷۱
نیتروژن برگ	۳/۹۱**	۲۱/۰۸
فسفر برگ	۱/۹۶**	۶/۳۲
پتاسیم برگ	۵/۹۱ ns	۴/۶۸
آهن برگ	۲/۴۳**	۸/۱۹
روی برگ	۵/۰۳*	۱۰/۳۳

**معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ *معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

جدول ۳- اثر تلقیح باکتری بر صفات رویشی و جذب عناصر غذایی برگ در نونهال‌های فندق جنگلی (میانگین ± اشتباه معیار)

صفت/ تیمار	شاهد	*P. putida*	*B. subtilis*	*E. cloacae*	*P.P+B.s+E.c*
ارتفاع (سانتی‌متر)	۱۷/۱±۱/۳ c	۲۰/۴۵±۲/۳۲ b	۲۰/۱۸±۲/۱۴ b	۱۷/۱۱±۰/۶۵ c	۲۶/۸۸±۱/۴۳ a
قطر یقه (میلی‌متر)	۴/۸۳±۰/۴۳ b	۶/۰۵±۰/۹ ab	۶/۰۲±۱/۲۲ ab	۶/۰۸±۱/۱۳ ab	۷/۱۷±۰/۷۷ a
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۱۶/۱۵±۱/۰۳ b	۲۳/۴۴±۲/۶۶ a	۲۳/۱۳±۲/۸۱ a	۲۳/۲۹±۲/۴۵ a	۲۳/۸۷±۲/۶۲ a
سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع بر گرم)	۱۰۰/۸۷±۱۱/۷۲ c	۱۲۳/۲۱±۱۷/۳۲ a	۱۲۰/۸۹±۱۲/۸۸ a	۱۱۵/۱۱±۱۴/۶۵ ab	۱۰۸/۲۸±۱۳/۳۴ bc
وزن خشک ریشه (گرم)	۲/۲۲±۰/۶۴ c	۳/۹۸±۰/۷۲ a	۳/۶۳±۰/۶۲ ab	۳/۰۳±۰/۱۵ b	۳/۱۱±۰/۳۳ b
وزن خشک اندام هوایی (گرم)	۴/۲۷±۰/۲۳ c	۶/۰۱±۰/۷۸ a	۵±۱/۰۲ ab	۴/۶۹±۱/۲۲ b	۵/۲۸±۱/۱۱ ab
نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی	۰/۵۲ ± ۰/۰۹ d	۰/۶۸ ± ۰/۱۱ b	۰/۷۳ ± ۰/۰۷ a	۰/۶۵ ± ۰/۱۲ bc	۰/۵۹± ۰/۱ c
وزن خشک کل نونهال (گرم)	۶/۵۱± ۰/۹۶ c	۹/۹۱± ۱/۴۵ a	۸/۶۹± ۱/۱۳ ab	۷/۷۲± ۲/۲۱ b	۸/۴۱± ۱/۶۳ ab
حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	۶/۴۴±۱/۰۱ d	۱۰/۸۷±۱/۳۳ a	۷/۶۳±۱/۶۷ c	۶/۱۱±۱/۳۳ d	۹/۰۸±۳/۴۲ b
شاخص کیفیت نونهال	۱/۲۱± ۰/۱۴ c	۲/۰۴± ۰/۲۲ a	۱/۸۶± ۰/۱۹ ab	۱/۷۸± ۰/۲ ab	۱/۵۹ ±۰/۱۳ b
نیتروژن برگ (درصد)	۱/۸۲±۰/۶۷ c	۲/۵۶±۰/۲۱۲ ab	۲/۴۹±۰/۴۵۱ ab	۲/۳۳±۰/۲۳۴ b	۲/۸۱±۰/۱۸۹ a
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۸۹±۰/۰۷۷ c	۲/۰۹±۰/۰۹ a	۱/۴۲±۰/۰۱۲ b	۰/۸۸±۰/۰۳۴ c	۰/۸۸±۰/۰۲۲ c
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴/۳۰±۰/۰۳۵ a	۴/۳۸±۰/۰۶۱ a	۴/۵۲±۰/۰۱۷ a	۴/۲۹±۰/۰۰۱ a	۴/۰۲±۰/۰۱۴ a
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱/۴۷±۰/۰۰۱ c	۲/۲۳±۰/۰۰۴ ab	۲/۶۵±۰/۰۱۱ a	۱/۸۸±۰/۰۲۳ b	۱/۳۳±۰/۰۰۱ c
روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۰۳۱±۰/۰۰۱ bc	۰/۰۵۱±۰/۰۰۲ a	۰/۰۲۸±۰/۰۰۲ bc	۰/۰۴۴±۰/۰۰۳ ab	۰/۰۴۹±۰/۰۰۸ a

حروف انگلیسی متفاوت در ردیف، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.

جذب عناصر غذایی در برگ نهال‌ها

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن (۲/۸۱ درصد) در تلقیح ترکیبی سه باکتری (*P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae*) مشاهده شد. بیشترین غلظت فسفر (۲/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تلقیح با باکتری *P. putida* به‌دست آمد. در مورد عنصر پتاسیم، اختلاف معنی‌داری بین تلقیح باکتری‌ها و شاهد مشاهده نشد. بیشترین غلظت آهن (۲/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۰/۰۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب در تلقیح با باکتری‌های *B. subtilis* و *P. putida* مشاهده شد (جدول ۳).

بحث

صفات رویشی

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که صفات رویشی نونهال فندق به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار تلقیح باکتری قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار ارتفاع و قطر یقه با تلقیح ترکیبی باکتری‌ها مشاهده شد. درحقیقت، تلقیح مجزای هریک از باکتری‌ها بر رشد و بهبود ارتفاع و قطر یقه تأثیری کمتری داشت، اما کاربرد ترکیبی آنها سبب افزایش معنی‌دار این دو صفت شد که این نتایج اثر سینرژیکی باکتری‌ها را تأیید می‌کند. با توجه به این‌که باکتری‌ها در طبیعت همراه گونه‌های دیگر وجود دارند و عمل می‌کنند، تلقیح آنها به‌صورت مخلوطی از مایه تلقیح‌های مختلف می‌تواند سبب اثر تشدیدکنندگی آنها در جذب عناصر تغذیه‌ای و بهبود رشد نونهال‌ها شود. این درحالی است که افزایش رشد ارتفاعی و قطری یقه نونهال‌ها می‌تواند به تولید هورمون‌ها در جدایه‌های باکتری‌های محرک رشد در ریزوسفر نهال‌ها نیز نسبت داده شود (Peyvandi *et al.*, 2010; Hojjat Noughi *et al.*, 2013). در بین تنظیم‌کننده‌های رشد که توسط باکتری‌ها تولید و ترشح می‌شوند، اکسین‌ها و به‌ویژه اکسین IAA نقش بسیار مؤثری در افزایش طول سلول‌های گیاهی، تحریک تقسیم سلولی و تمایز در گیاه دارند (Stepanova *et al.*, 2008).

تلقیح ترکیبی باکتری‌ها می‌تواند سبب از بین رفتن اثرات مضر احتمالی آنها شود (Wani *et al.*, 2007; Esitken *et al.*, 2010). در این خصوص، Karličid و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی نهالستانی با تأثیر ترکیبی از چند باکتری محرک رشد (*B. licheniformis*، *P. putida* و *A. hydrophila*) بر نونهال‌های گلدانی اقاقیا و نهال‌های دوساله کاج جنگلی دریافتند که نسبت به تیمار شاهد، نونهال‌های اقاقیا ۱۶ درصد رشد ارتفاعی و ۱۳ درصد رشد قطری یقه و نهال‌های کاج جنگلی ۱۲ درصد رشد قطری یقه بیشتری داشتند. در پژوهش پیش‌رو نیز کاربرد هر سه تیمار میکروبی به‌صورت تلفیقی و همچنین باکتری *P. putida* به‌طور مجزا سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ شد. سطح برگ در تلقیح ترکیبی سه باکتری ۴۷/۸ درصد و مقدار سطح ویژه برگ در تلقیح مجزای باکتری‌های *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae* به‌ترتیب ۲۲/۱۴، ۱۹/۸۴ و ۱۴/۱۱ درصد افزایش یافت. درحقیقت، با افزایش سطح پهنک، سطح تماس برگ افزایش یافت و به‌علت نازک بودن سطح آن، میزان جذب دی‌اکسید کربن، تعرق و نرخ فتوسنتز و به‌دنبال آن میزان رشد گیاه افزایش یافت (Close *et al.*, 2005). همچنین می‌توان اظهار داشت که افزایش سطح برگ نشان‌دهنده افزایش آماس سلولی، سرعت تقسیم و گسترش سلول‌ها است که با افزایش سطح جذب ریشه و جمع‌آوری آب توسط ریشه انجام می‌شود. این باکتری‌ها به‌واسطه تولید هورمون IAA و مصرف آنزیم ACC دآمیناز نیز سبب تشکیل ریشه‌های طویل‌تر و بهبود جذب آب از اعماق خاک می‌شوند و کارایی استفاده از آب را برای توسعه سطح برگ و رشد گیاه از طریق افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) بیشتر می‌کنند (Rosas *et al.*, 2006; Spaepen *et al.*, 2009).

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که همه باکتری‌های مورد آزمایش، زیتوده ریشه و اندام هوایی نونهال‌های فندق را افزایش دادند، به‌طوری‌که باکتری *P. putida* وزن خشک ریشه و حجم ریشه نونهال‌های تلقیح‌شده فندق را به‌ترتیب ۷۹/۳ و ۶۸/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. در

این خصوص، می‌توان گفت که اکسین تولیدشده به‌وسیله باکتری *P. putida* در محیط ریشه می‌تواند با سنتز آنزیم (ACC) باعث کاهش تولید اتیلن شود و از این طریق رشد ریشه را تحریک کند (Xie *et al*., 2002). به‌طور کلی، سودوموناس‌ها متابولیت‌های متعددی از قبیل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و ویتامین‌ها تولید می‌کنند که بر رشد گیاه و میکروارگانیسم‌های موجود در خاک اثر می‌گذارند (Ahemad & Kibret, 2014).

در نتایج پژوهش پیش‌رو، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی با تلقیح باکتری *B. subtilis* و *P. putida* به‌ترتیب با ۴۰/۴ و ۳۰/۸ درصد و وزن خشک اندام هوایی و وزن کل نونهال‌ها با تلقیح باکتری *P. putida* به‌ترتیب ۴۴/۳ و ۵۲/۲ درصد نسبت به نونهال‌های شاهد افزایش یافت. Mafia و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که وزن خشک اندام هوایی نونهال‌های *E. globulus* با تلقیح باکتری‌های ریزوسفری *P. putida* و *B. subtilis* به‌ترتیب ۳۳/۴ و ۴۶/۱ درصد نسبت به نونهال‌های شاهد، افزایش یافت. به‌طور کلی باکتری‌های *P. Putida* و *B. subtilis* از طریق سنتز فیتوکروم‌ها، افزایش فراهمی مواد غذایی در یک محل، آسان کردن جذب مواد غذایی، کاهش سمیت فلزات سنگین و جلوگیری از عامل‌های بیماری‌زا و القای مقاومت سیستماتیک، رشد ریشه و ساقه گیاه را افزایش می‌دهند (Rekha *et al*., 2007). در مطالعه Zahir و همکاران (۲۰۰۰) مشخص شد که توانایی باکتری‌های ریزوسفری ازجمله *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae* در تولید اکسین (IAA) برحسب نوع باکتری و شرایط محیط کشت، متفاوت است. به‌طور مشابه، در پژوهش پیش‌رو نیز احتمال دارد که باکتری *P. putida* در مقایسه با باکتری‌های *B. subtilis* و *E. cloacae* ترکیبات ایندول اکسین زیادتری تولید کرده باشد، بنابراین افزایش بیشتری در رشد نونهال‌های فندق ایجاد شد. در مجموع، در میان باکتری‌های محرک رشد، جنس سودوموناس بر تحریک جوانه‌زنی بذر، رشد سریع در مراحل اولیه، افزایش رشد، شکل‌گیری ریشه و ریشه‌های مویی و کنترل پاتوژن در برخی گونه‌های جنگلی کارآمد بوده است (Rekha *et al*., 2007) و به‌دلیل توزیع گسترده در خاک، توانایی کلنیزاسیون در فراریشه بسیاری از گیاهان را دارد و در تولید دامنه متنوعی از متابولیت‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد (Rosas *et al*., 2006). از آنجایی‌که یکی از موارد مهم برای موفقیت جنگل‌کاری‌ها تولید نهال‌های قوی و سالم در نهالستان است، برخی خصوصیات نهال‌ها در ارزیابی بنیه و شانس موفقیت استقرار آنها در عرصه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (South *et al*., 2005). شاخص کیفیت نونهال، همانند نسبت زی‌توده ریشه به ساقه، قطر یقه و سیستم ریشه‌ای، به‌عنوان معیاری برای ارزیابی کیفیت نونهال و نیز استقرار آن در عرصه محسوب می‌شود (Oliet *et al*., 2005). در نتایج این پژوهش نیز شاخص کیفیت نونهال در همه تیمارهای تلقیح با باکتری در مقایسه با شاهد بهبود یافت و بیشترین مقدار آن (۲/۰۴) در تلقیح با باکتری *P. putida* به‌دست آمد. از این‌رو، برای تولید نهال فندق در نهالستان، چنان‌چه به‌کارگیری باکتری‌های محرک رشد نیاز باشد، استفاده از باکتری *P. putida* توصیه می‌شود.

عناصر غذایی

تلقیح باکتری‌ها در پژوهش پیش‌رو، نه‌تنها بر بهبود صفات رویشی نونهال‌ها اثرگذار بود، بلکه وضعیت تغذیه‌ای برگ نونهال‌ها را تحت تأثیر قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت نیتروژن در تلقیح ترکیبی سه باکتری، غلظت فسفر و روی در تلقیح مجزای *P. putida* و غلظت آهن در تلقیح مجزای *B. subtilis* در برگ نونهال‌های فندق افزایش پیدا کرد. به‌طور مشابه، Karakurt و Aslantas (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر چهار جدایه از باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عناصر غذایی برگ کولتیوارهای *Malus domestica* دریافتند که *P. putida* و *B. subtilis* سبب افزایش غلظت ازت و فسفر برگ شدند. همچنین در بررسی انجام‌شده توسط Erturk و همکاران (۲۰۱۱) بر دو کولتیوار از *Corylus colurna*، رویش ارتفاع، قطر ساقه و عناصر غذایی برگ (از قبیل N، P، K، Ca، Mg، Fe، Cu، Mn، Zn و B) تحت تأثیر باکتری‌ها افزایش یافت.

گزارش‌هایی درخصوص آثار مثبت باکتری‌های محرک رشد در افزایش غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در برگ، ساقه و ریشه گونه‌های مختلف وجود دارد (Rosas *et al*., 2006; Kumar *et al*., 2010; Ahemad & Khan, 2010). این امر می‌تواند با افزایش سطح ریشه در پاسخ به ترشح هورمون‌های مختلف گیاهی به‌وسیله باکتری‌های محرک رشد توجیه شود که موجب افزایش سطح ریشه با خاک و جذب بیشتر عناصر غذایی می‌شود. همچنین تولید اسیدهای مختلف توسط باکتری‌ها می‌تواند موجب محلول‌سازی بیشتر فسفر معدنی و آلی خاک شود. به‌طور کلی باکتری‌های سودوموناس، باسیلوس، فلاوباکتریوم و انتروباکتر مهمترین باکتری‌های حل‌کننده فسفر خاک‌ها محسوب می‌شوند (Suliasih & Widawaiti, 2005). همچنین باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas* و *Bacillus*) سبب افزایش مقدار آهن در تیمارهای تلقیح با باکتری می‌شوند (Yang *et al*., 2009; Kumar *et al*., 2010; Ahemad & Khan, 2010). این درحالی است که سودوموناس و باسیلوس، جذب عناصر معدنی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف را از طریق تحریک پمپ پروتونی ATPase افزایش می‌دهند (Yang *et al*., 2009).

نتایج پژوهش پیش‌رو نیز مشخص کرد که باکتری‌های محرک رشد سبب بهبود شرایط تغذیه‌ای برگ نونهال‌های فندق شدند. بیشترین مقدار ازت و روی در تلقیح باکتری‌های ترکیبی و بیشترین مقدار فسفر و آهن به‌ترتیب در تلقیح با باکتری‌های *P. putida* و *B. subtilis* مشاهده شد. به‌طور کلی با توجه به تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد در جذب عناصر غذایی، افزایش رشد قطری و ارتفاعی و شاخص‌های ریخت‌شناسی دیگر ازجمله شاخص کیفیت نونهال‌های فندق در مقایسه با شاهد، به‌ترتیب باکتری‌های *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloacae* برای تلقیح نونهال‌های فندق در نهالستان توصیه می‌شوند. درحقیقت، تجهیز ریشه نونهال‌ها با باکتری‌های محرک رشد (مهندسی ریشه) می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب برای تولید نهال سالم و قوی در نهالستان فندقلوی اردبیل و همچنین افزایش استقرار و موفقیت نهال‌کاری در رویشگاه‌های آشفته و تخریب‌یافته این گونه باشد.

References

- Ahemad, M. and Khan, M.S., 2010. Influence of selective herbicides on plant growth promoting traits of phosphate solubilizing *Enterobacter asburiae* strain PS2. Research Journal of Microbiology, 5: 849-857.
- Ahemad, M. and 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.
- Ahemad, M. and Kibret, M., 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting Rhizobacteria: Current perspective. Journal of King Saud University Science, 26: 1-20.
- Ahmadloo, F., Tabari, M., Yousefzadeh, H., Kooch, Y. and Rahmani, A., 2012. Effects of soil nutrient on seedling performance of Arizona cypress and medite cypress. Annals of Biological Research, 3(3): 1369-1380.
- Arias, D., Calvo-Alvarado, J. and Dohrenbusch, A., 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. Forest Ecology and Management, 247: 185-193.
- Bahmani, M., Jalali, G.A., Asgharzadeh, A. and Tabari, M., 2015. Efficiency of *Pseudomonus putida* 169 on improvement few growth characters of *Calotropis procera* seedling under drought stress. Soil Biology, 2(3): 107-116 (In Persian).
- Bombeli, J., Zuccherelli, G., Zuccherelli, S. and Capaccio, V., 2002. An investigation of vegetation types and plantation structural with hazelnut, oak, and beach in Italy. The Malaysian Forester, 66(1): 58-69.
- Close, D.C., Beadle, C.L. and Brown, P.H., 2005. The physiological basis of containerized tree seedling 'transplant shock': a review. Australian Forestry, 68(2): 112-120.
- Dickon, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F., 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. Forestry Chronicle, 36: 10-13.
- Emami, A., 1996. Description of Plant Analysis Method. Published by Soil and Water Institute, Tehran, 113p (In Persian).
- Erturk, Y., Ramasan, E., Omur, D. and Metin, T., 2011. Effects of plant growth promotion

Reforesta, 3-6 June. 2015: 42-49.
- Kumar, K.V., Behl, R.K. and Narula, N., 2010. Establishment of phosphate solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under greenhouse conditions. Microbiol Resources, 156: 87-93.
- Kumar, K.V., Singh, N., Behl, H.M. and Srivastava, S., 2008. Influence of plant growth promoting bacteria and its mutant on heavy metal toxicity in *Brassica juncea* grown in fly ash amended soil. Chemosphere, 72: 678-683.
- Mafia, R.G., Alfenas, A.C., Ferreira, E.M., Henrique, D., Binoti, B., Mafia, G.M.V. and Moun-teer, A.H., 2009. Root colonization and interaction among growth promoting rhizobacteria isolates and *eucalypts* species. Revista Árvore, 33(1): 1-9.
- Moraghebi, F., 2000. Study on hazelnuts of Iran and introduction of *Corylus maxima* for Iranian flora by enzymatically and morphological survey. Pajouhesh & Sazandegi, 53: 2-6 (In Persian).
- Mozaffarian, V., 2011. Trees and Shrubs of Iran. Farhang-e Moaser Press, Tehran, 1054p (In Persian).
- Oliet, J.A, Planelles, R., Artero, F. and Jacobs, D., 2005. Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. Forest Ecology and Management, 215: 339-351.
- Peyvandi, M., Farahani, F., Hosseini Mazinani, M., Noormohamadi, Z., Ataii, S. and Asgharzade, S., 2010. *Pseudomonas fluorescent* and its ability to promote root formation of olive micro shoots. Plant Production, 4: 63-66 (In Persian).
- Rahmani, A., Khoshnevis, M. and Nourshad, M., 2006. Effects of different fertilizers on growth of Acer seedlings in two nurseries at Caspian region of Iran. Pajouhesh & Sazandegi, 19(4): 143-149 (In Persian).
- Rekha, P.D., Lai, W.A., Arun, A.B. and Young, C.C., 2007. Effect of free and encapsulated *Pseudomonas putida* CC-FR2-4 and *Bacillus subtilis* CC-pg104 on plant growth under gnotobiotic condition. Bioresource Technology, 98: 447-451.
- Rosas, S.B., Andrez, J.A., Rovera, M. and Correa, N.S., 2006. Phosphate-solubilizing *Pseudomonas putida* can influence the rhizobia-legume symbiosis. Soil Biology and Biochemistry, 38: 3502-3505.
- Sabeti, H., 1994. Forests, Trees and Shrubs of Iran. Yazd University Press, Yazd, 810p (In Persian).

rhizobacteria on vegetative growth and leaf nutrient content of hazelnut seedling (Tomul and Sivri). International Journal of Soil Science, 42: 91-98.
- Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M. and 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.
- Glick, B.R., 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology, 41: 109-117.
- Gutierrez-Manero, F.J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouachi, J., Tadeo, F.R. and Talon, M., 2001. The plant-growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiolology Plant, 111: 206-211.
- Hasani, G., Akhgar, A.A.R. and Tajabadpour, A., 2012. Effectiveness of IAA and ACC-Deaminaze producing *Pseudomonas fluorescent* on Growth of Pistachio seedling. Iranian Journal of Soil Research, 26(1): 89-97 (In Persian).
- Hojjat Noughi, F., Akhgar, A.R., Esfandiarpour, I. and 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).
- Issac, R.A. and Johnson, W.C., 1975. Collaborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. Journal of the Association Official of Analytical Chemist, 58: 336-340.
- Jackson, M.L., 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA, 521p.
- Karakurt, H. and Aslantas, R., 2010. Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple. Fruit Ornamental Plant Resources, 18: 101-110.
- Karličid, V., Radid, D., Jovičid Petrovid, J., Golubovid-Durguz, V., Kikovid, D. and Raičevid, V., 2015. Inoculation of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus sylvestris* L. seedlings with plant growth promoting bacteria causes increased growth in coal mine overburden. In: Ivetid, V. and Stankovid, D. (Eds.). Proceedings of International Conference on Reforestation Challenges. Belgrade, Serbia,

- South, D.B., Harrisa, S.W., Barnett, J.P., Hainds. M.J. and Gjerstad, D.H., 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. Forest Ecology and Management, 204: 385-398.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J. and Okon, Y., 2009. Plant growth promoting actions of rhizobacteria. Advances in Botanical Resource, 51: 283-320.
- Stepanova, A.N., Robertson-Hoyt, J., Yun, L.M., Benavente, D.Y., Xie, K., Dolezal, S., Jurgens, G. and Alonso, J.M., 2008. TAA1-mediated Auxin biosynthesis is essential for hormone crosstalk and plant development. Cell, 133: 177-191.
- Suliasih, S. and Widawaiti, R.I., 2005. Isolation and identification of phosphate solubilizing and nitrogen fixing bacteria from soil in Wamena Biological Garden, Jayawijaya, Papua. Biodiversitas, 6(5): 137-153.
- Teimouri, M., Korori, S.A.A., Khoshnevis, M., Matinizadeh, M. and Kalagari, M., 2007. Effect of phosphate solubilizing bacteria inoculation on maple (*Acer velutinum*) seedlings. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(1): 76-82 (In Persian).
- Wani, P.A., Khan, M.S. and Zaidi, A., 2007. Synergistic effects of the inoculation with nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing rhizobacteria on the performance of field grown chickpea. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 170: 283-287.
- Xie, H., Pasternak, J.J. and Glick, B.R., 2002. Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that over produce indoleacetic acid. Current Microbiology, 32: 67-71.
- Yang, J., Kloepper, J.W. and Ryu, C.M., 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends Plant Science, 14: 1-4.
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y.Z., Yao, X.Q. and Yin, H.J., 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. Photosynthetica, 45: 613-619.
- Yazdian, F. and Marvi Mohajer, M.R., 2001. A study of oak forest in Arasbaran region. Iranian Journal of Natural Resources, 54(2): 153-165 (In Persian).
- Zahir, Z.A., Abbas, S.A., Khalid, M. and Arshad, M., 2000. Substrate dependent microbial derived plant hormones for improving growth of maize seedlings. Pakistan Journal of Biological Sciences, 3: 289-291.

Effect of Growth Promoting Rhizobacteria on growth and nutrient elements of common hazelnut (*Corylus avellana* L.) seedlings in Ardabil Fandoqlou nursery

Y. Rostamikia [1], M. Tabari Kouchaksaraei [2*], A. Asgharzadeh [3] and A. Rahmani [4]

1- Ph.D. Student Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2*- Corresponding author, Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: mtabari@modares.ac.ir

3- Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 19.05.2016 Accepted: 11.07.2016

Abstract

The aim of present research was to investigate the effects of Growth Promoting Rhizobacteria on growth (height, collar diameter, dry weight of root and shoot, total dry biomass and quality index of seedling) and nutrient absorption (N, P, K, Fe and Zn) in leaf of common hazelnut (*Corylus avellana* L.) For this purpose, effects of three bacteria including *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis* and *Enterobacter cloacae*, alone and together, for 7 months on filbert seedling in pots containing of autoclaved soil under nursery conditions were evaluated. The results showed that the greatest height (26.88 cm), collar diameter (7.17 mm), leaf area index (23.87 cm^2/g) and N concentration (2.81%) were observed for seedlings inoculated with all bacterial. The biggest root dry weight, root volume, seedling quality index and P concentration were observed in seedlings inoculated with *P. putida* (alone). The highest Fe and Zn were obtained in seedlings inoculated with *B. subtilis and P. putida*, respectively. Generally, according to beneficial effects of Growth Promoting Rhizobacteria on absorption of nutrient elements and morphologic growth, *P. putida*, *B. subtilis* and *E. cloacae* are recommended for seedling inoculation, respectively. In fact, inoculation of root with Growth Promoting Rhizobacteria (root engineering) can be an appropriate approach to produce healthy and strong seedlings in nursery and increasing success of plantation in disturbed and degraded habitats.

Keywords: Bacteria inoculation, hazelnut, growth, quality index of seedling.