فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۲، صفحه ۲۶۸-۲۵۶، (۱۳۹۴)

تأثیر سطوح مختلف آمیختگی توسکا و صنوبر بر جمعیت فرانکیا در خاک

احسان کهنه[۱]، امیر لکزیان[۲*]، علیرضا آستارایی[۳] و کاظم خاوازی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، پست الکترونیک: alakzian@um.ac.ir
۳ – دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۰۴

چکیده

امروزه از کاشت مخلوط درختان تثبیت‌کننده نیتروژن برای تأمین نیاز عناصر غذایی صنوبرکاری‌ها استفاده می‌شود، اما این امر می‌تواند با کاهش تعداد گیاه میزبان در هکتار بر جمعیت فرانکیای خاک تأثیر منفی داشته باشد. برای مطالعه تأثیر سطوح مختلف آمیختگی توسکا با صنوبر بر جمعیت فرانکیا در خاک، آزمایشی در قالب آماری بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار شامل نسبت‌های ۱۰۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد آمیختگی صنوبر *Populus deltoides 77/51* با توسکای ییلاقی (*Aluns subcordata*) با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات صنوبر صفرابسته انجام شد. جمعیت فرانکیا در خاک به روش بیشترین تعداد محتمل (MPN) و میزبانی نهال‌های توسکای ییلاقی تعیین شد. نتایج نشان داد که توسکا در سطوح مختلف آمیختگی باعث افزایش رشد ارتفاعی و قطری صنوبرها، بهبود وضعیت عناصر غذایی، کربن آلی و pH خاک و افزایش غلظت نیتروژن و پتاسیم در برگ‌های صنوبر نسبت به تیمار خالص صنوبر شده است. همچنین نتایج جمعیت فرانکیا نشان داد که خاک تیمارهای مختلف با یکدیگر ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری داشتند. بیشترین و کمترین جمعیت، ۴۹/۱۷ و ۰/۸۹ عدد در گرم خاک، به‌ترتیب در تیمارهای توسکا و صنوبر خالص مشاهده شد. جمعیت فرانکیا با ارتفاع درخت توسکا، مقادیر فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک همبستگی منفی معنی‌دار داشت، اما با قطر درخت توسکا، pH خاک و عناصر غذایی برگ رابطه مثبت و معنی‌داری را نشان داد. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که فرانکیا در رشد و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز درختان مؤثر بوده است و کشت مخلوط نسبت به کشت خالص صنوبر باعث افزایش جمعیت فرانکیا شده است.

واژه‌های کلیدی: توسکای ییلاقی، صنوبر دلتوئیدس، فرانکیا، کشت مخلوط، گره‌زایی.

مقدمه

صنوبرها توان سازگاری زیادی دارند و تندرشد هستند، بنابراین در پیشرفت اقتصادی و اجتماعی روستاها و کارآفرینی کارایی ویژه‌ای دارند و فشار بر جنگل‌های طبیعی را کاهش می‌دهند (Asadi, 2001; Kiadaliri, 2003). بیشتر صنوبرکاری‌ها به‌صورت خالص کشت شده‌اند که برداشت‌های پی‌درپی در دوره‌های بهره‌برداری کوتاه‌مدت، باعث کاهش حاصلخیزی خاک و ناپایداری تولید جنگل‌کاری‌ها به‌ویژه در گونه‌های تندرشد آن شده است؛ بنابراین نیاز است که برای حفاظت از جنگل‌های طبیعی و

برآوردن نیاز کشور به چوب از سیستم‌های نوین جنگل‌کاری بهره‌گیری شود (Khanna, 1997).

کاشت آمیخته درختان اکتینوریزایی (Actinorhizal) مانند توسکا و سنجد با دیگر درختان باارزش یکی از روش‌های پذیرفته‌شده در جنگل‌کاری برای افزایش میزان نیتروژن خاک است (Dawson,1983; 1986). در توده جنگلی بیشترین میزان تثبیت زیستی نیتروژن به همزیستی گیاهان اکتینوریزایی نسبت داده می‌شود که از این میان همزیستی فرانکیا (Frankia) با میزبان توسکا جایگاه ویژه‌ای دارد. توسکا از گروه درختانی است که با اکتینومیست‌های جنس فرانکیا همزیستی دارد و درنتیجه این همزیستی، گره‌های ریشه‌ای نه‌تنها در توسکا بلکه در بیشتر از ۲۰۰ گونه از گیاهان چوبی غیرلگومینوز تشکیل می‌شود (Schwintzer & Tjepkema 1990; Martin *et al.*, 2003). این گره‌ها جایگاه تثبیت نیتروژن مولکولی و تأمین‌کننده نیتروژن مورد نیاز رشد گیاه هستند (Wolters *et al.*, 1997). فرانکیا توانایی تأمین ۷۰ تا ۹۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز گیاه میزبان را دارد، بنابراین گیاه میزبان برای تأمین نیتروژنی خود به خاک وابسته نیست (Kurdali *et al.*, 1990; Huss-Danell, 1997). نیتروژن تثبیت‌شده توسط توسکا به‌وسیله بقایای برگی به خاک برمی‌گردد و به‌آسانی معدنی می‌شود و می‌تواند باعث بهبود وضعیت نیتروژن کل و قابل دسترس خاک شود. افزایش مقدار ماده آلی در خاک زیر کشت توسکا نیز تا حدود ۲۰ درصد گزارش شده است (Binkley,1983; 1986). Cote و Camire (۱۹۸۶) گزارش کردند که در کشت آمیخته با کاهش نسبت صنوبرها و افزایش تعداد توسکاها، رشد درختان صنوبر و غلظت نیتروژن در بافت آنها افزایش می‌یابد، اما تأثیری بر رشد و تغذیه درختان توسکا ندارد. Hahn و همکاران (۱۹۸۸) و Smolander و Sarsa (۱۹۹۰) گزارش کردند که کشت آمیخته توسکا باعث افزایش رویش قطری و ارتفاعی صنوبرهای هیبریدی شده است، اما سایه‌اندازی صنوبرها رشد درختان توسکا را کاهش داده است. همچنین Younger و Kapustka (۱۹۸۳) گزارش کردند که مقدار تثبیت نیتروژن توسط *Alnus rugosa* در کشت آمیخته با *Populus tremuloides* کاهش داشته است.

عامل‌های ژنتیکی و محیطی مختلفی بر آلودگی و غده‌زایی گیاهان اکتینوریزی توسط فرانکیا تأثیر دارد. pH خاک (Quispel, 1954)، نیتروژن قابل دسترس (MacConnell & Bond, 1957)، دما (Wollum & Youngberg, 1969)، رطوبت قابل دسترس (Righetti *et al.*, 1986)، برهم‌کنش ریز جانداران خاک (Knowlton *et al.*, 1980) و نوع پوشش گیاهی (Smolander, 1990; Myrold & Huss-Danell, 1994) از عامل‌هایی هستند که بر گره‌زایی گیاه میزبان تأثیر دارند. pH خاک یکی از ویژگی‌های مهم در پیش‌بینی توانایی گره‌زایی فرانکیا در خاک است. Smolander و همکاران (۱۹۹۰) همبستگی مثبت معنی‌داری بین توان آلوده‌کنندگی فرانکیا (Infective units (IUs) of Frankia) و pH خاک در توسکای *A. incana* (Moench) و توسکای قشلاقی (*A. glutinosa* Gaertn.) را گزارش کردند. Wollum و همکاران (۱۹۶۸) نشان دادند که جمعیت فرانکیا در خاک به وجود گیاه میزبان در زیستگاه و هاگ‌زایی آن (Van Dijk, 1984) وابسته است، اما HussDanell و Frej (۱۹۸۶) گزارش کردند که فرانکیا در خاک‌هایی که گیاه میزبان حذف شده است نیز یافت می‌شود. برپایه گزارش Maunuksela و همکاران (۱۹۹۹)، توان آلوده‌کنندگی فرانکیا در خاک زیر درختان غیراکتینوریزی *Betula pendula* با خاک توده مجاور زیر کشت توسکا *A. incana* برابر بود. میزان گره‌زایی در گیاه میزبان به سویه فرانکیا (Dawson & Sun, 1981)، وضعیت ریخت‌شناسی سویه (Weber *et al.* 1987) و جمعیت زادمایه (Inoculums) بستگی دارد (Houwers& Akkermans, 1981). Jobidon و Thibault (۱۹۸۲) نشان دادند که تراوش‌های ریشه‌ای و برگی صنوبر *P. balsamifera* باعث کاهش گره‌زایی و تثبیت نیتروژن در توسکای *A. crispa* شده است.

برای بررسی پیامد کشت آمیخته توسکا بر رشد و

کارکرد صنوبرها، کشت آمیخته توسکای ییلاقی (*A. subcordata* C. A. Mey.) با صنوبر (*P. deltoids77/51* Marsh) در اراضی ایستگاه تحقیقات صنوبر صفرابسته آستانه‌اشرفیه انجام شد. ازآنجایی‌که کاهش تعداد گیاهان میزبان همزیست با فرانکیا می‌تواند بر جمعیت و توانایی گره‌زایی فرانکیا اثر داشته باشد، این پژوهش به‌منظور شناسایی عامل‌های مؤثر بر جمعیت و توانایی گره‌زایی فرانکیا در خاک زیر کشت سطوح مختلف آمیختگی صنوبر با توسکا و رابطه بین توانایی گره‌زایی با ویژگی‌های خاکی و رویشی گیاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه

طرح پژوهشی کشت آمیخته توسکای ییلاقی و صنوبر در اراضی ایستگاه تحقیقات صنوبر صفرابسته با موقعیت ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۶۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی در کیلومتر پنج جاده آستانه‌اشرفیه به بندر کیاشهر، در نزدیکی رودخانه سفیدرود و با ارتفاع ۱۰- متر از سطح دریای آزاد انجام شد. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۲۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۶/ ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. خاک منطقه با زهکشی خوب، حاصلخیزی متوسط و بافت لوم و pH آن ۷/۶ و آبرفتی می‌باشد. درختان غالب منطقه سفیدپلت (*P. caspica*) و توسکای قشلاقی می‌باشند (Karimi, 2000). رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب یودیک و مزیک است (Poladi *et al.*, 2012).

روش پژوهش

کشت آمیخته درختان توسکای ییلاقی با صنوبر با طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار شامل خالص توسکا (100A)، کشت آمیخته ٪۷۰ توسکا+ ٪۳۰ صنوبر (70A 30P)، کشت آمیخته ٪۵۰ توسکا+ ٪۵۰ صنوبر (50A 50P)، کشت آمیخته ٪۳۰ توسکا+ ٪۷۰ صنوبر (30A 70P) و کشت خالص صنوبر (100P) در سه تکرار در بهار سال ۱۳۷۵ در اراضی ایستگاه تحقیقات صنوبر صفرابسته آستانه‌اشرفیه اجرا شد. هر کرت آزمایشی ۱۲۹۶ مترمربع (۳۶ × ۳۶ متر) و فاصله کاشت درختان ۴ × ۴ متر (۶۲۵ اصله در هکتار) بود و از نهال‌های ریشه‌لخت یک‌ساله صنوبر با ارتفاع حدود سه متر و توسکا با ارتفاع حدود ۷۰ سانتی‌متر استفاده شد. در چهار سال نخست انجام پژوهش، علف‌های هرز به روش مکانیکی و دستی حذف شدند و از هیچ‌گونه کود شیمیایی یا آلی و علف‌کش استفاده نشد (Hosseinzadeh Rad, 2003).

نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی خاک

نمونه‌برداری خاک در اواسط تابستان ۱۳۹۲ انجام شد. برای تهیه نمونه خاک از چهار گوشه و مرکز هر کرت (در مجموع پنج ریزنمونه در هر کرت آزمایشی) تا عمق ۱۰ سانتی‌متری نمونه خاک برداشت شد. نمونه‌ها باهم مخلوط شدند تا یک نمونه مرکب به‌دست آید. بخشی از نمونه‌ها برای تجزیه شیمیایی هوا خشک شدند و بخشی دیگر برای اندازه‌گیری توانایی گره‌زایی فرانکیا تا زمان شروع آزمایش در یخچال نگهداری شد. pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ (Thomas, 1996)، کربن آلی به روش والکلی- بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال (Nelson & Sommers, 1980)، فسفر قابل دسترس به روش اولسن و عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم نرمال (Kuo, 1996) و پتاسیم قابل دسترس با عصاره‌گیر استات آمونیوم نرمال (Sumner & Miller, 1996) و قرائت با دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین شد.

برداشت و تجزیه نمونه‌های برگی

همزمان با دیگر نمونه‌برداری‌ها، نمونه‌های برگ نیز برداشت شد. برای نمونه‌برداری برگ درمجموع شش درخت در هر کرت گزینش شد، به‌طوری‌که چهار درخت از هر گونه در چهار گوشه و دو درخت در مرکز کرت باشند. از یک‌سوم پایین تاج هر درخت و شاخه‌های اصلی آن نمونه‌های برگ جمع‌آوری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی درختان

به‌منظور کاهش اثرات جانبی، با حذف دو ردیف از درختان هر کرت، قطر برابر سینه و ارتفاع سایر درختان

موجود در کرت‌هایی به ابعاد ۲۰ ×۲۰ متر تعیین شد. قطر برابر سینه با کالیپر و ارتفاع گیاه با دستگاه ورتکس اندازه‌گیری شد.

تعیین توانایی گره‌زایی فرانکیا به روش MPN

توانایی گره‌زایی فرانکیا با بهره‌گیری از کشت گیاه (Plant bioassay) انجام شد. ابتدا بذرهای توسکای ییلاقی که در آذرماه سال قبل جمع‌آوری‌شده بودند برای ۱۰ دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم (۱٪ کلرین فعال) ضدعفونی شدند و سپس در پتری‌دیش‌هایی با بلندی سه میلی‌متر دارای کاغذ صافی مرطوب در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا جوانه بزنند (Wolters *et al.*, 1997). بذرهای جوانه‌زده به گلدان‌های پلاستیکی پرشده با شن استریل منتقل شدند و به‌صورت هفتگی تا چهار هفته با محلول غذایی با غلظت کم نیتروژن (یک‌چهارم) آبیاری شدند (Hoagland & Arnon, 1950). سپس سری رقت‌های ده‌تایی نمونه‌های خاک برای انجام آزمایش MPN آماده شد (۰/۱ گرم خاک تر در یک میلی‌لیتر محلول غذایی) و به نهال‌های سترون توسکا در ظروف پلی‌اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتری دارای محلول غذایی بدون نیتروژن یک‌چهارم هوگلند افزوده شد. هر رقت پنج بار تکرار شد. به‌منظور حذف اثرات pH خاک بر محیط کشت، مقداری از نمونه خاک با محلول هیدروکسید پتاسیم ۰/۱ مولار تا pH ۶/۵ عیارسنجی شد و مقدار مساوی هیدروکسید پتاسیم به محلول اولیه خاک افزوده شد (پنج گرم خاک به‌علاوه ۵۰ میلی‌لیتر محلول غذایی و هیدروکسید پتاسیم). همزمان برای تعیین وزن خاک خشک در هر رقت مقدار رطوبت خاک نیز اندازه‌گیری شد (Martin *et al.*, 2003). نهال‌ها در گلخانه قرار داده شدند و محلول غذایی در آغاز هر دو هفته و سپس به‌صورت هفتگی تعویض شد (Hilger *et al.*, 1991). پس از ۱۴ هفته گیاهان برای بررسی پیدایش گره در سیستم ریشه بررسی شدند. وجود یک گره هم در سیستم ریشه باعث ثبت نتیجه مثبت شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- سمیرنوف بررسی شد و مشخص شد که داده‌ها نرمال هستند. سپس تجزیه‌وتحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها با بهره‌گیری از آزمون توکی در محیط SAS (SAS Institute, 2003) انجام شد. داده‌های مربوط به گره‌زایی با بهره‌گیری از نرم‌افزار MPN Calculator, Build 23 پردازش شدند. داده‌های به‌دست‌آمده برای تعداد واحدهای آلوده‌کننده در گرم خاک خشک که باعث گره‌زایی می‌شوند، به‌عنوان IUs گزارش شد (Martin *et al.*, 2003).

نتایج

ویژگی‌های رویشی درختان

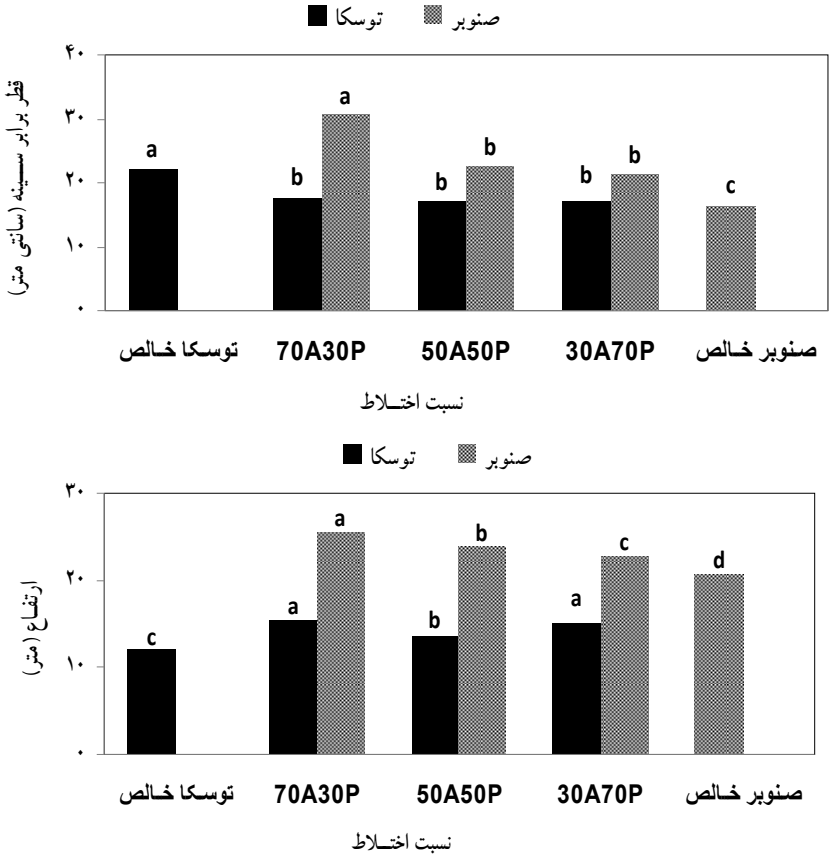
سطوح مختلف آمیختگی تأثیر معنی‌داری بر قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نشان داد (جدول ۱). این موضوع بیان می‌کند که کاشت آمیخته توسکا اثر مثبتی بر قطر برابر سینه درختان صنوبر در مقایسه با تیمار خالص صنوبر داشته است (شکل ۱). بیشترین میانگین قطر و ارتفاع صنوبر در تیمار 70A30P مشاهده شد که با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. سطوح مختلف آمیختگی در مقایسه با کشت خالص توسکا باعث کاهش معنی‌دار قطر برابر سینه درختان توسکا شد (شکل ۱)، اما ارتفاع درختان توسکا در تیمارهای آمیخته نسبت به خالص افزایش نشان داد و این افزایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه‌واریانس اثر کاشت آمیخته توسکا و صنوبر بر ویژگی‌های بررسی‌شده در خاک

منبع تغییرات	میانگین مربعات									
	ویژگی‌های خاکی						ویژگی‌های رویشی درختان			
	درجه آزادی	pH	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	درجه آزادی	ارتفاع		قطر	
								صنوبر	توسکا	صنوبر	توسکا
نسبت اختلاط	۴	۰/۰۲۹**	۰/۵۷**	۱۲۹۷۱/۴**	۴۲/۱**	۰/۰۰۹**	۳	۱۲/۸۹**	۷/۱۲**	۱۰۲/۷**	۱۷/۸۹**
خطای آزمایشی	۸	۰/۰۰۰۹۷	۰/۰۰۵	۱۳/۵۳	۰/۲۸	۰/۰۰۰۲۳	۶	۰/۰۳۳	۰/۱۸	۱/۳۰	۰/۴۶
ضریب تغییرات		۱۰/۴۲	۲/۲۲	۱۱/۲۶	۱۲/۶۷	۵/۵۱		۱۰/۷۸	۱۳/۰۱	۵/۰۳	۳/۶۶

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

درجه آزادی سه در جدول بیانگر این است که چهار تیمار با یکدیگر مقایسه شده‌اند و تیمار خالص گونه دیگر مقایسه نشده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع هر دو گونه درختی در نسبت‌های مختلف آمیختگی

(میانگین‌های با حروف مشابه در هرگونه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج تجزیه‌واریانس (جدول ۱) نشان داد که سطوح مختلف آمیختگی تأثیر معنی‌دار بر ویژگی‌های شیمیایی خاک داشت ($P<0.01$). مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که آمیختگی توسکا با صنوبر باعث کاهش معنی‌دار pH خاک در مقایسه با تیمار خالص صنوبر شده است. بیشترین و

کمترین pH خاک با مقادیر ۷/۵۷ و ۷/۳۳ به‌ترتیب در خاک توده‌های خالص صنوبر و اختلاط ۷۰ درصد صنوبر + ۳۰ درصد توسکا (70A30P) مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین مقدار کربن آلی خاک نیز نشان داد که اختلاط توسکا با صنوبر باعث افزایش معنی‌دار مقدار کربن آلی خاک شده است (جدول ۲). بیشترین (۳/۶۷ درصد) و کمترین (۲/۶۵ درصد) مقدار کربن آلی به‌ترتیب در خاک تیمار خالص توسکا و خالص صنوبر مشاهده شد. بیشترین مقدار نیتروژن کل خاک نیز در توده خالص توسکا وجود داشت که با سایر ترکیبات تفاوت معنی‌داری داشت ($P<0.01$) (جدول ۲). تغییرات نیتروژن کل نیز مشابه کربن آلی خاک بود.

سطوح مختلف آمیختگی توسکا و صنوبر تأثیر معنی‌داری بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار فسفر در خاک ترکیب 30A70P و کمترین مقدار در تیمار خالص صنوبر بوده است (جدول ۲). کشت مخلوط در طی زمان آزمایش توانسته بود باعث افزایش مقدار فسفر خاک در مقایسه با تیمارهای خالص شود. پتاسیم قابل دسترس نیز بین تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان داد و کمترین مقدار پتاسیم در تیمار توسکای خالص مشاهده شد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین (± انحراف‌معیار) تأثیر سطوح مختلف آمیختگی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

نسبت اختلاط	pH	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)
خالص توسکا	۷/۴۸(±۰/۰۲۵) b	۳/۶۷(±۰/۰۶) a	۰/۳۶(±۰/۰۲) a	۱۸/۰(±۰/۲۱) c	۱۷۷/۷(±۲/۵) d
70A30P	۷/۳۳(±۰/۰۲) d	۳/۴۲(±۰/۰۹) b	۰/۲۳(±۰/۰۱) c	۲۲/۷(±۰/۳۸) b	۳۲۰/۰(±۲/۰) b
50A50P	۷/۴۳(±۰/۰۳) bc	۲/۸۷(±۰/۰۹) c	۰/۲۷(±۰/۰۱) b	۱۷/۱(±۰/۳۵) cd	۳۰۵/۷(±۵/۱) c
30A70P	۷/۳۶(±۰/۰۵) dc	۳/۴۸(±۰/۰۷) ab	۰/۲۹(±۰/۰۲) b	۲۴/۶(±۰/۶۰) a	۳۴۶/۳(±۴/۰) a
خالص صنوبر	۷/۵۷(±۰/۰۳) a	۲/۶۵(±۰/۱) d	۰/۲۲(±۰/۰۲) c	۱۶/۰(±۰/۷۴) d	۳۰۹/۳(±۴/۰) c

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

غلظت عناصر غذایی برگ

نتایج تجزیه‌واریانس نشان داد که سطوح مختلف آمیختگی اثر معنی‌داری بر غلظت عناصر در برگ درختان داشته است (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حضور درختان توسکا اثر مثبت و معنی‌داری بر غلظت نیتروژن و پتاسیم در برگ درختان صنوبر داشت (جدول ۴) اگرچه مقادیر به‌دست‌آمده هنوز کمتر از نرم پیشنهادشده (Taylor 1991) هستند. بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب در برگ درختان توسکا و صنوبر خالص دیده شد. همانند نیتروژن، بیشترین و کمترین اندازه پتاسیم در برگ درختان توسکا و صنوبر خالص دیده شد، اما مقدار این عناصر در برگ توسکای موجود در تیمارهای آمیخته برخلاف صنوبرها کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). روند تغییرات فسفر گیاه همانند نیتروژن و پتاسیم نبود. بیشترین غلظت فسفر در درختان تیمار 50A50P دیده شد و کمترین مقدار فسفر هم در برگ‌های درختان تیمار صنوبر خالص اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه‌واریانس اثر کاشت آمیخته توسکا و صنوبر بر ویژگی‌های بررسی‌شده در گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	IUs	درجه آزادی	میانگین مربعات					
				غلظت عناصر در برگ					
				پتاسیم		فسفر		نیتروژن	
				صنوبر	توسکا	صنوبر	توسکا	صنوبر	توسکا
نسبت اختلاط	۴	۴۹۹۲۳۲۹/۸**	۳	۰/۰۳۶**	۰/۰۵۹**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۳**	۰/۱۳**	۰/۰۲۲**
خطای آزمایشی	۸	۴۸۳۸/۲	۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات		۵/۱۸		۸/۷	۱۱/۱	۴/۳	۴/۹۶	۱۳/۹	۸/۱

معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

در جدول درجه آزادی سه بیانگر این است که چهار تیمار با یکدیگر مقایسه شده و تیمار خالص گونه دیگر مقایسه نشده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین (± انحراف معیار) تأثیر سطوح مختلف آمیختگی بر غلظت برخی عناصر غذایی در برگ درختان

نسبت اختلاط	نیتروژن		فسفر		پتاسیم	
	درصد					
	توسکا	صنوبر	توسکا	صنوبر	توسکا	صنوبر
خالص توسکا	۲/۷۰(±۰/۰۲۵)a		۰/۶۸(±۰/۲۵۰)b		۰/۴۷(±۰/۰۴۷)a	
70A30P	۲/۵۳(±۰/۰۲۵)b	۱/۹۸(±۰/۱۱)a	۰/۶۵(±۰/۰۴۵)b	۰/۶۱(±۰/۰۱۵)b	۰/۳۱(±۰/۰۳۲)b	۰/۲۹(±۰/۰۲) a
50A50P	۲/۵۷(±۰/۰۳)b	۱/۹۸(±۰/۱۱)a	۰/۷۳(±۰/۰۵۶)ab	۰/۷۱(±۰/۰۳۱)a	۰/۲۰(±۰/۰۵۲)c	۰/۱۸(±۰/۰۲۱)b
30A70P	۲/۵۲(±۰/۰۱۵)b	۱/۷۸(±۰/۰۴)b	۰/۸۰(±۰/۰۲۶)a	۰/۷۰(±۰/۰۳۰)a	۰/۱۵(±۰/۰۲۵)c	۰/۰۸(±۰/۰۱۸)c
خالص صنوبر		۱/۵۵(±۰/۰۶)c		۰/۶۰(±۰/۰۲۰)b		۰/۰۵(±۰/۰۰۴)c

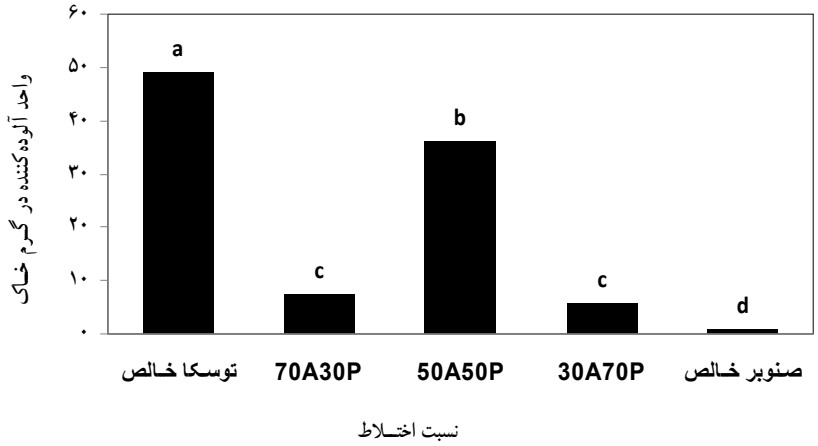
میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

توانایی گره‌زایی فرانکیا

نتایج تجزیه‌واریانس نشان داد که توانایی گره‌زایی فرانکیا در خاک‌های تحت پوشش ترکیب‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۱). بیشترین تعداد (۴۹/۱۷ عدد در گرم خاک) و کمترین (۰/۸۹ عدد در گرم خاک) واحد آلوده‌کنندگی به‌ترتیب در خاک توده‌های خالص توسکا و صنوبر مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشتند. با افزایش نسبت اختلاط صنوبر با توسکا توانایی گره‌زایی فرانکیا روند کاهشی نشان داد (شکل ۲).

بررسی رابطه بین توانایی گره‌زایی فرانکیا با متغیرهای مورد بررسی

ضرایب همبستگی (جدول ۵) نشان داد که بین توانایی گره‌زایی فرانکیا و برخی از متغیرهای بررسی‌شده رابطه معنی‌داری وجود دارد. مقدار کربن آلی و مقادیر قابل دسترس فسفر و پتاسیم خاک همبستگی منفی و pH خاک رابطه مثبت و معنی‌داری با توانایی گره‌زایی فرانکیا داشت. قطر برابر سینه و غلظت عناصر غذایی در درختان توسکا همبستگی مثبتی با توانایی گره‌زایی نشان داد، درحالی‌که این رابطه برای ارتفاع درختان توسکا منفی بود.



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف آمیختگی بر توانایی گره‌زایی فرانکیا

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین توانایی گره‌زایی فرانکیا و دیگر ویژگی‌های آزمایش‌شده

	توسکا		ویژگی‌های خاک					برگ توسکا			
	قطر	ارتفاع	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	pH	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
IUs	۰/۷۰*	-۰/۹۴**	۰/۷۳**	-۰/۹۲**	-۰/۸۵**	-۰/۰۶	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۰/۷۰*	۰/۶۰*

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

بحث

بیشترین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان صنوبر در تیمار با کمترین نسبت صنوبر (70A30P) به‌دست آمد. Sayyad و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیشترین قطر برابر سینه صنوبرها را در تیمار 33P:67A آمیخته توسکا و صنوبر گزارش کردند. Binkley (۱۹۸۳) هم گزارش کرد که در اراضی غیرمستعد، کشت توسکای *A. rubra* اثر مثبتی بر رویش قطری *Pesudotsuga menziessi* داشته است. Campbell و Dawson (۱۹۸۹) گزارش کردند که کشت آمیخته توسکای قشلاقی با گردوی سیاه (*Juglans nigra*) پس از ۱۴ سال توانسته باعث افزایش ۵۰ درصدی قطر برابر سینه و ارتفاع درختان گردو شود. برپایه گزارش Binkley (۱۹۹۲) هرچه نسبت صنوبرها کمتر باشد، رقابت درختان با یکدیگر برای دریافت نور کاهش می‌یابد. قطر برابر سینه و ارتفاع درختان توسکا نیز در سطوح مختلف آمیختگی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. با توجه به اینکه توسکا نورپسند است، در تیمارهایی با نسبت بیشتر صنوبر، رقابت برای دریافت نور باعث ارتفاع بیشتر درختان توسکا شده است. Hansen وDawson (۱۹۸۲) نیز در کشت آمیخته صنوبر و توسکای قشلاقی یافته‌هایی همانند این بررسی را گزارش کرده‌اند. Dawson (۱۹۹۰) هم گزارش کرده است که توسکا برای کشت در زیراشکوب دیگر درختان چوبی سایه‌دار انتخاب مناسبی نیست. برپایه گزارش Jobidon و Thibault (۱۹۸۲) در کشت آمیخته توسکا و صنوبر به‌دلیل خاصیت دگرآسیبی (Allelopathy) صنوبرها، عملکرد توسکا در این سیستم کشت کاهش می‌یابد.

سطوح مختلف آمیختگی توسکا و صنوبر پس از ۱۷ سال اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های خاک داشته است. به‌نظر می‌رسد که این تفاوت‌ها ناشی از وضعیت عناصر غذایی

درختان در هر تیمار باشد. Zou (۱۹۹۳) و Tian و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که ترکیب شیمیایی گیاهان از طریق تأثیر بر سرعت تجزیه آنها اثر عمده‌ای بر ویژگی‌های خاک و فون لاشبرگ دارد. بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی و نیتروژن به‌ترتیب در تیمارهای خالص توسکا و خالص صنوبر دیده شد که نشانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آمیختگی بر این عامل‌ها است. مقدار بیشتر نیتروژن در خاک تیمار توسکای خالص در مقایسه با تیمارهای آمیخته می‌تواند به‌دلیل بیشتر بودن تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط همزیستی با فرانکیا، انباشتگی و سرعت تجزیه‌پذیری بیشتر مواد آلی در خاک باشد (Binkley,1983; 1986). Binkley و Ryan (۱۹۹۷) نیز گزارش کردند که در خاک زیر کشت *Albizia falcataria* در مقایسه با خاک زیر کشت اکالیپتوس، مقدار بیشتری کربن آلی وجود دارد که با نتایج پژوهش پیش‌رو همخوانی دارد. همچنین مواد آلی خاک ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی داشته است که باعث جذب و نگهداری عناصر غذایی می‌شوند.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که آمیختگی توسکا با صنوبر در مقایسه با تیمار خالص صنوبر باعث کاهش معنی‌دار pH خاک شده است. Van Miegrot و Cloe (۱۹۸۵) گزارش کردند که لاشبرگ‌های توسکای *A. rubra* سرشار از نیتروژن است و در طی فرآیند تجزیه، آمونیوم را وارد خاک می‌کند. این محققان در ادامه اشاره می‌کنند که در فرآیند نیتریفیکاسیون، آمونیوم به نیترات تبدیل می‌شود که این امر می‌تواند منشأ اصلی اسیدی شدن خاک زیر کشت توسکا باشد.

غلظت نیتروژن در برگ‌های صنوبر در تیمارهای آمیخته بیشتر از تیمار خالص صنوبر بود که می‌تواند نتیجه اثربخشی کاشت آمیخته توسکا به‌عنوان تأمین‌کننده نیتروژن برای تغذیه درختان همراه باشد که با نتایج Parrotta (۱۹۹۹) مطابقت دارد. این پژوهشگر بیان کرد که غلظت نیتروژن در لاشبرگ‌های درختان تثبیت‌کننده نیتروژن و گونه‌های همراه در کشت مخلوط بیشتر از لاشبرگ‌های کاشت خالص گونه‌های همراه است. در مقابل Khanna (۱۹۹۷) اختلاف معنی‌داری در برگ‌های کامل و افتاده آکاسیا در تیمارهای کشت خالص و مخلوط مشاهده نکرد.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که اختلاف معنی‌داری در توانایی گره‌زایی فرانکیای خاک‌ها در سطوح مختلف آمیختگی وجود دارد. بیشترین توانایی گره‌زایی گیاه میزبان در تیمار خالص توسکا به‌دست آمد که می‌تواند بیانگر جمعیت بیشتر فرانکیا در این خاک باشد. به‌طور احتمالی می‌توان بیان کرد که کاهش یا حذف گیاه میزبان منجر به کاهش جمعیت و یا کاهش توانایی گره‌زایی فرانکیا شده است. نتایج همبستگی بین توانایی گره‌زایی فرانکیا و ویژگی‌های خاک نشان داد که ویژگی‌های خاک بر گره‌زایی ریشه‌ها توسط فرانکیا مؤثر است، به‌طوری‌که از ویژگی‌های بررسی‌شده، pH، نیتروژن و فسفر خاک تأثیر معنی‌داری بر IUs فرانکیا داشتند. همچنین رابطه مثبتی بین pH خاک و واحدهای آلوده‌کننده فرانکیا در خاک مشاهده شد که با نتایج Smolander (۱۹۹۰) همخوانی دارد. برپایه گزارش وی گره‌زایی فرانکیا در نهال‌های توسکای قشلاقی همبستگی مثبتی با pH خاک دارد، اما یافته‌های Dawson و Klemp (۱۹۸۷) خلاف این گزارش بود. Smolander و Sundman (۱۹۸۷) توانایی گره‌زایی فرانکیا را در خاک زیرکشت کاج، توسکا، غان و نوئل بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی مثبتی بین pH و IUs در محدوده pH ۳/۴ تا ۴/۴ (r^2=0.66) وجود دارد. Martin و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که pH کم خاک باعث کاهش گره‌زایی فرانکیا در *A. rubra* شده است. به‌نظر پژوهشگران فوق، از آنجایی‌که بین کربن کل خاک و IUs همبستگی ضعیفی دیده شد، این اثر بازدارندگی نمی‌تواند به‌دلیل اثر ترکیبات آلی موجود در خاک بر فعالیت فرانکیا باشد. در پژوهش یادشده مشخص شد که pH خاک با توانایی گره‌زایی خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (r^2=0.4)، اما بین کربن کل و نیتروژن کل خاک با IUs همبستگی وجود ندارد. صنوبرها دارای ترکیبات فنولی و پلی‌فنولی هستند (Olsen *et al.*, 1971) که در کشت آمیخته *A. incana* با *P. tremuloides* باعث کاهش فعالیت

نیتروژناز شده است (Younger & Kapustka, 1983).

باتوجه به نتایج پژوهش پیش‌رو می‌توان گزارش کرد که سطوح مختلف آمیختگی توسکا و صنوبر اثر معنی‌داری بر توانایی گره‌زایی فرانکیا در خاک منطقه صفرابسته داشته است، به‌طوری‌که آمیختگی باعث افزایش جمعیت فرانکیا در توده‌های جنگل‌کاری صنوبر نسبت به تک‌کشتی صنوبر آن شده است و این تفاوت‌ها را می‌توان به تراکم گیاه میزبان و ویژگی‌های خاک به‌ویژه pH خاک مرتبط دانست.

References

- Asadi, F., Naderishahab, M.A. and Mirzaii-Nadoshan, H., 2001. Genetic diversity of Poplar clones using random amplified polymorphic (RAPD) DNA. Pajouhesh & Sazandegi, 50: 36-44.
- Binkley, D., 1983. Ecosystem production in Douglas-fir plantations: Interaction of red alder and sit fertility. Forest Ecology and Management, 5(3): 215-227.
- Binkley, D., 1986. Forest Nutrition. John Wiley Press, New York, 290p.
- Binkley, D. and Ryan M.G., 1998. Net primary production and nutrient cycling in replicated stands of *Eucalyptus saligna* and *Albizia facaltaria*. Forest Ecology and Management, 112: 79-85.
- Campbell, G.E., and Dawson, J.O., 1989. Growth, yield, and value projections for black walnut inter plantings with black alder and autumn olive. Northern Journal of Applied Forestry, 6: 129-132.
- Côté, B., and Camiré, C., 1986. Determining the extension of edge effect in small plots using type I and type II error rates. Canadian Journal of Forest Research, 16(4): 710-712.
- Dawson, J.O., 1983. Dinitrogen fixation in forest ecosystems. Canadian Journal of Microbiology, 29: 979-992.
- Dawson, J.O., 1986. Actinorhizal plants: Their use in forestry and agriculture. Outlook on Agriculture, 15:202-208.
- Dawson, J.O., 1990. Interactions among actinorhizal and associated species. The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants, Academic Press, London, UK, pp. 299-316.
- Dawson, J.O., and Klemp, M.T., 1987. Variation in the capacity of black alder to nodulate in central Illinois soils. In: Hay, R.L., Woods, F.W. and Deselm, H. (Eds.) Proceedings of the Central Hardwoods Forest Conference, pp. 255-260. Department of Forestry, University of Tennessee, Knoxville, TN.
- Dawson, J.O. and Sun, S.H., 1981. The effect of isolates from *Comptonia peregrina* and *Alnus crispa* on the growth of *Alnus glutinosa*, *A. cordata*, and *A. incana* clones. Canadian Journal of Forest Research, 11: 758-762.
- Hahn, D.M., Starrenburg, J.C. and Akkermans, A.D.L., 1988. Variable compatibility of cloned *Alnus glutinosa* ecotypes against ineffective Frankia strains. Plant Soil, 107: 233-243.
- Hansen, E.A. and Dawson, J.O., 1982. Effect of *Alnus glutinosa* on hybrid Populus height growth in a short-rotation intensively cultured plantation. Forest Science, 28: 49-59.
- Hilger, A.B., Tanaka, Y. and Myrold, D.D., 1991. Inoculation of fumigated nursery soil increases nodulation and yield of bare-root red alder (*Alnus rubra* Bong). New Forests, 5: 35-42.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water culture method for growing plant without soil, California Agricultural Experiment Station: Circular, 347.
- Hosseinzadeh Rad, F., 2003. Investigation on effect of *Alnus subcordata* on growth and production of Poplar in Astaneh Ashrafieh. M.Sc. thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, 89p (In Persian).
- Houwers, A., and Akkermans, A.D.L., 1981. Influence of inoculation on yield of *Alnus glutinosa* in the Netherlands. Plant Soil, 61: 189-202.
- Huss-Danell, K., 1997. Actinorhizal symbioses and their N_2 fixation. New Phytologist, 136: 375-405.
- Huss-Danell, K. and Frej, A.K., 1986. Distribution of Frankia in soils from forest and afforestation sites in northern Sweden, Plant and Soil, 90: 407-418.
- Jobidon, R. and Thibault, J.R., 1982. Allelopathic growth inhibition of nodulated and unnodulated *Alnus crispa* seedlings by *Populus balsamifera*. American Journal of Botany, 69: 1213-1223.
- Karimi, G.H., 2000. Investigation of growth, product and wood physical qualities of Poplar clones (comparison populetum) in two research station, Guilan (Safrabasteh) and Karaj (Alborz

species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. Forest Ecology and Management, 124(1): 45-77.
- Puladi, N., Delavar, M.A., Golchin, A. and Mosavi Koper, A., 2012. Effects of plantation on soil quality indicators and carbon sequestration in Safrabasteh Poplar Research Station in Guilan province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(1): 84-95 (In Persian).
- Quispel, A., 1954. Symbiotic nitrogen fixation in non-leguminous plants; II. The influence of some environmental conditions on different phases of the nodulation process in *Alnus glutinosa*. Acta Botanica Neerlandica, 7: 191-204.
- Righetti, T.L., Chard, C.H. and Backhaus, R.A., 1986. Soil and environmental factors related to nodutation in Cowania and Purshia. Plant and Soil, 91: 147-160.
- SAS Institute, 2003. JMP: Statistics and Graphics Guide, version 5.1.SAS Institute, Cary, NC, 792p.
- Sayyad, E., Hosseini, S.M., Mokhtari, J., Mahdavi, R., Jalali, S.G., Akbarinia, M. and Tabari, M., 2006. Comparison of growth, nutrition and soil properties of pure and mixed stands of *Populus deltoides* and *Alnus Subcordata*. Silva Fennica, 40(1): 27-35.
- Schwintzer, C.R. and Tjepkema, J.D., 1990. The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants. Academic Press, San Diego.
- Smolander, A., 1990. Frankia populations in soils under different tree species - with special emphasis on soils under *Betula pendula*. Plant Soil, 121: 1-10.
- Smolander, A. and Sarsa, M.L., 1990. Frankia strains of soil under *Betula pendula*: behavior in soil and in pure culture. Plant Soil, 122: 129-136.
- Smolander, A. and Sundman, V., 1987. Frankia in acid soils of forests devoid of actinorhizal plants. Physiologia Plantarum, 70: 297-303.
- Sumner, M.E. and Miller, W.P., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks, D.L. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA Book Series 5, SSSA, Madison, WI, pp. 1201-1229.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: Methods of Soil Analysis. Part 3 (Sparks,

Research Center), M.Sc. thesis, Imam Khomeini Higher Education Center, Tehran, 133p (In Persian).
- Khanna, P.K., 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii*. Forest Ecology and Management, 94(1-3): 105-113.
- Kiadaliri, S.H., 2003: Study of Populus Plantations on Different Soils in Western Parts of Mazandaran. Published by University of Tarbiat Modares, 105p (In Persian).
- Knowlton, S., Berry, A. and Torrey, J.G., 1980. Evidence that associated soil bacteria may influence root hair infection of actinorhizal plants by Frankia. Canadian Journal of Microbiology, 26: 971-977
- Kuo, S., 1996. Phosphorus. In Sparks, D.L. (Ed.) Methods of Soil Analysis; Part 3, pp. 869-919, SSSA Book Series 5, Madison, WI.
- Kurdali, F.A., Domenach, M. and Bardin, R., 1990. Alder-poplar associations: Determination of plant nitrogen sources by isotope techniques. Biology and Fertility of Soils, 9: 321-329.
- MacConnell I.T. and Bond, G., 1957. A comparison of the effect of combined nitrogen on nodulation in non-legumes and legumes. Plant and Soil, 8: 378-388.
- Martin, K.J., Posavatz1, N.J. and Myrold, D.D., 2003. Nodulation potential of soils from red alder stands covering a wide age range. Plant and Soil, 254: 187-192.
- Maunuksela, L., Zepp, K., Koivula, T., Zeyer, J., Haahtela, K. and Hahn, D., 1999. Analysis of Frankia populations in three soils devoid of actinorhizal plants. FEMS Microbiology Ecology, 28: 11-21.
- Myrold, D.D. and Huss-Danell, K., 1994. Population dynamics of *Alnus infective* Frankia in a forest soil with and without host trees. Soil Biology and Biochemistry, 20: 533-540.
- Nelson, D. and Sommers, L., 1980. Total nitrogen of soil and plant tissue. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 63: 770-778.
- Olsen, R.A., Odham, G. and Linderberg, G.,1971. Aromatic substances in leaves of *Populus tremula* inhibiters of mycorrhizal fungi. Physiologia Plantarum, 25: 122-129.
- Parrotta, J.A., 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single and mixed

.L., ed.). SSSA Book Series 5, Madison, WI, pp. 475-490.
- Tian, G., Kang, B. T. and Brussard, L., 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: decomposition and nutrient release. Soil Biology & Biochemistry, 24: 1051-1060.
- Van Dijk, C., 1984. Ecological Aspects of Spore Formation in the Frankia-Alnus Symbiosis. Ph.D. thesis, University of Leiden.
- Van Miegroet, H. and Cloe, D.W., 1985. Acidification sources in red alder and douglas-fir soils; Importance of nitrification. Soil Science Society of America Journal, 49: 1274-1279.
- Weber, A., Nurmiaho-Lassila, E. L. and Sundman, V., 1987. Features of the intrageneric Alnus-Frankia specificity. Physiologia Plantarum, 70: 289-296.
- Wollum, A.G. and Youngberg, C.T., 1969. The effect of soil temperature on nodulation of *Ceanothus velutinus* Dougl. Soil Science Society of America Proceeding, 33: 801-803.
- Wollum, A.G., Youngberg, C.T. and Chichester, F.W., 1968. Relation of previous timber stand age to nodulation of *Ceanothus velutinus*. Forest Science, 14: 114-118.
- Wolters, D. J., Akkermans, A.D.L. and Van Dijk, C., 1997. Ineffective Frankia strains in wet stands of *Alnus glutinosa* L. Gaertn. in the Netherlands. Soil Biology and Biochemistry, 29(11/12): 1707-1712.
- Younger, P.D. and Kapustka, L.A., 1983. N2 (C_2H_2) ase activity by *Alnus incana* ssp. *rugosa* (Betulaceae) in the northern hardwood forest. American Journal of Botany, 70(1): 30-39.
- Zou, X., 1993. Species effects on earthworm density in tropical tree plantations in Hawaii. Biology and Fertility of Soils, 15: 35-38.

Effects of mixed plantation of alder and poplar on population of Frankia nodulation in soil

E. Kahneh[1], A. Lakzian[2*], A. Astaraii[3] and K. Khavazi[4]

1- Ph. D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2*- Corresponding author, Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: alakzian@um.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 12.03.2014 Accepted: 01.24.2015

Abstract

Nowadays, nitrogen-fixing tree species are often planted in combination with poplar to provide nutrients, though this can reduce the number of host plants and have a negative impact on soil Frankia population. In order to study the effects of mixed plantation of Caucasian alder (*Alnus subcordata*) and poplar (*Populus deltoides*) on Frankia nodulation potential, an experiment was carried out within a randomized block design. Five different mixtures of 17–years old *P. deltoides* (P) and *A. subcordata* (A) (100A, 70A30p, 50A50P, 30A70 and 100P) were established in Safrabasteh Poplar Research Station in Guilan province of Iran. The results showed that the presence of alder in mixture with poplar positively affected the diameter at breast height (DBH) and height of poplar trees. Mixed plantations with alder can improve Soil pH and the amount of soil nutrients and organic carbon. Furthermore, foliar nutrient concentrations of poplar trees were higher in mixed plantations than in pure plantations. The results of Frankia population analysis showed significant difference between the soils across different species mixture classes. The highest and lowest levels of Frankia population were observed in the rhizosphere soil of pure alder (49.17 g^{-1} soil) and pure poplar (0.89 g^{-1} soil), respectively. The Frankia population was negatively correlated with amounts of available P and K, yet it was positively correlated with pH. In addition, Frankia population showed positive and negative correlations with alder DBH and height, respectively. These results confirmed the effects of plant-host density on the viability and population of Frankia.

Keywords: *Alnus subcordata*, *Populus deltoides*, Frankia, mixed plantation, nodulation potential.