

اثر رقابت ریزوسفری بر تغییرات فصلی فعالیت ویژه و مطلق اوره‌آز در کشت خالص و آمیخته بلندمازو و پلت

یاسمین شریف‌پور^۱، هاشم حبشی^{۲*} و علیرضا علی‌عرب^۳

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- استادیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۹

چکیده

ریزوسفر خاک منطقه‌ای با حداکثر فعالیت آنزیمی است و فعالیت آنزیمی آن به‌طور اصلی تحت تأثیر فعالیت ریشه‌های گیاهان است. فعالیت آنزیم اوره‌آز شاخص معدنی‌سازی نیتروژن آلی و تنظیم پویایی نیتروژن خاک است. هدف این تحقیق بررسی تغییرات فعالیت مطلق و ویژه اوره‌آز موجود در ریزوسفر کشت خالص و آمیخته بلندمازو و پلت در طی فصول مختلف است. ۱۸ ریزوترون با قابلیت نمونه‌گیری از مکان‌های مختلف ریزوسفر در زمان‌های متوالی طراحی و ساخته شد. سه تیمار کشت دارای پنج تکرار و تیمار کنترل دارای سه تکرار بود. نتایج نشان داد که فعالیت مطلق و ویژه اوره‌آز بین تیمارهای کشت و فصول مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است. در تیمارهای کشت فعالیت مطلق اوره‌آز از پاییز ۹۴ تا تابستان ۹۵ به مقدار ۱۸/۰ درصد و فعالیت ویژه اوره‌آز به مقدار ۲۳/۵ درصد روند افزایشی را نشان داد. کشت آمیخته بیشترین مقدار و تیمار کنترل کمترین مقدار فعالیت اوره‌آز را در تمامی فصول به خود اختصاص دادند. مقدار فعالیت اوره‌آز در تمامی تیمارها در فصل زمستان کاهش محسوس داشت. کشت آمیخته به دلیل حضور دو گونه با ساختارهای متفاوت ریشه دوانی، ایجاد آشیان‌های اکولوژیک مکمل در فضای خاک کرده است که موجب افزایش قابل توجه فعالیت آنزیمی اوره‌آز در فضای ریزوسفر و زی‌توده ریشه شده است.

واژه‌های کلیدی: اوره‌آز، رقابت ریشه، ریزوترون، بلندمازو، پلت.

مقدمه

رقابت در جمعیت‌های گیاهی به دو صورت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای وابسته به آمیختگی گونه‌ها دیده می‌شود. این رقابت برای منابع روی زمینی مانند نور و منابع زیرزمینی مانند آب و مواد مغذی صورت می‌گیرد (song et al., 2006). از آنجاکه گونه‌های گیاهی در آغاز رشد خود ریشه را توسعه می‌دهند از این‌رو ابتدا رقابت زیرزمینی شکل می‌گیرد و تا آخرین مرحله زندگی گیاه نیز ادامه دارد (Lei et al., 2012) بنابراین پژوهش‌های رقابت ریشه از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است.

ریزوسفر حجم کوچک خاکی است که اطراف ریشه‌ها را احاطه کرده است، تحت تأثیر فعالیت ریشه‌های گیاه بوده (Fang et al., 2013) و یکی از مهم‌ترین واسطه‌های زیستی پویا در خاک است. آنزیم‌های تولید شده توسط ریشه‌ها و میکروارگانیسم‌ها محرک‌های اصلی زیستی در تجزیه ماده آلی خاک می‌باشند. شکل و وسعت ریزوسفر برای فعالیت‌های آنزیمی وابسته به ویژگی‌ها و تفاوت‌های گونه‌های گیاهی به دلیل فرآیندها (برای مثال تراوش ریشه) و عملکردهای (برای مثال توانایی ایموبیلیزاسیون مواد مغذی) خاص ریزوسفر متفاوت است (Razavi et al., 2016). فعالیت آنزیمی در ریزوسفر بسیار بیشتر از حجم خاک فاقد ریشه است که به دلیل حضور ریشه‌ها و تراوش مواد مغذی و آنزیم‌ها توسط ریشه‌ها است (Gianfreda et al., 2015). گونه‌های گیاهی بر فعالیت و تولید آنزیم در خاک می‌توانند اثرگذار باشند. به‌طورمعمول گیاهان با توانایی بیشتر گسترش ریشه موجب تحریک بیشتر فعالیت‌های آنزیمی از طریق تأثیر ریزوسفری خواهند شد؛ بنابراین انتخاب گونه در کشت بر تولید آنزیمی در محیط ریزوسفر اثرگذار است (Gianfreda et al.,

2015). گونه‌های درختی با توجه به مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه و نیازمندی‌های مواد مغذی متفاوت هستند (Wang et al., 2001, Jones et al., 2004)؛ بنابراین تأثیر ریزوسفر وابسته به گونه‌های درختی (Garcia et al., 2005) و ترکیب آمیختگی آنها (Fang et al., 2013) متفاوت است. Brunel و همکاران (2017) بیان داشتند اضافه شدن آمیختگی گونه‌های درختی می‌تواند به‌طور بالقوه موجب به حداکثر رسیدن تنوع منابع مغذی شود که این عمل از طریق ایجاد آشیان‌های اکولوژیک مکمل ایجاد می‌شود. در نتیجه عملکرد پایدار خاک ممکن است به مقدار زیادی به ترکیب آمیختگی وابسته باشد. فعالیت آنزیمی ریزوسفر تحت تأثیر ترکیب‌های گونه‌های درختی است و تفاوت در تأثیر وابسته به تکمیل رفتارهای گونه‌ها متغیر است (Fang et al., 2013).

نیتروژن موجود در خاک‌های جنگلی (۹۸-۹۶ درصد) شامل پلیمرهای پیچیده غیرقابل حل مانند پروتئین، نوکلئیک اسید و کیتین است که توسط آنزیم‌های خارج سلولی تجزیه می‌شوند (Heijden et al., 2008). فعالیت اوره‌آز خاک به‌عنوان شاخص معدنی سازی نیتروژن آلی خاک و تنظیم پویایی نیتروژن بیان شده است (Adamczyk et al., 2014). اوره‌آز می‌تواند هیدرولیزاسیون پروتئین را افزایش دهد و آمونیاک حاصل از هیدرولیز، منبع مغذی اصلی برای رشد گیاه است. نیتروژن کل و نیتروژن قابل هیدرولیز قلیا محصول‌هایی از اوره‌آز هستند، بنابراین اوره‌آز می‌تواند سطح حاصلخیزی خاک به‌خصوص سطح نیتروژن خاک را نشان دهد (Xueyong et al., 2009). محتوی کم ماده آلی و نیتروژن در خاک موجب کاهش فعالیت اوره‌آز خاک خواهد شد (Xueyong et al., 2009). مواد آلی و لاش ریزه‌های آلی اضافه‌شده به خاک در حضور آنزیم

بسیار اندک بوده و تعداد تحقیق‌ها در مورد در گونه‌های درختی محدود است؛ بنابراین پژوهش این‌گونه در مورد فعالیت و ویژگی‌های ریزوسفر و ریشه بسیار مهم است تا دانش در این زمینه ارتقا یابد. با توجه به اهمیت آنزیم اوره‌آز در چرخه نیتروژن و اختلاف در ویژگی‌های ریزوسفری گونه‌های جنگلی این تحقیق تغییرات فصلی فعالیت آنزیمی (مطلق و ویژه) اوره‌آز را در ترکیب‌های متفاوت کشت دو گونه بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و پلت (*Acer velutinum*) را با استفاده از یک ریزوترون نوین مورد پژوهش قرار داده است. با این فرض که فعالیت اوره‌آز وابسته به تأثیر گونه‌ها در فصول مختلف متفاوت است.

مواد و روش‌ها

خاک و لاشبرگ مورد استفاده در این تحقیق از پارسل یک جنگل شصت کلاته گرگان جمع‌آوری شد. خاک مورد آزمایش دارای بافت لومی شامل ۳۹ درصد شن، ۳۶ درصد سیلت و ۲۵ درصد رس بود. خاک قبل از کشت نهال‌ها یکنواخت شد و ذرات درشت و ریشه‌ها با الک کردن اندازه منافذ ۱۰ میلی‌متر حذف شدند. لاشبرگ یک‌ساله پلت و بلندمازو به‌صورت دستی جمع‌آوری شد، در هوای آزاد خشک و ریز شدند تا وضعیت همگنی به‌دست آید. نهال‌های ریشه لخت یک‌ساله دو گونه بلندمازو و پلت از نهالستان قرق در زمستان ۱۳۹۳ انتخاب شدند؛ هنگام انتخاب اصل همانندی رعایت شد. در شروع آزمایش نهال‌های بلوط و افرا به ترتیب دارای قطر یقه $12/0 \pm 0/3$ میلی‌متر و $10/4 \pm 0/1$ میلی‌متر (میانگین \pm اشتباه معیار) و میانگین ارتفاعی $55/2 \pm 0/8$ سانتی‌متر و $32/1 \pm 0/3$ سانتی‌متر (میانگین \pm اشتباه معیار) بودند. نهال‌ها در دی‌ماه ۱۳۹۳ در ریزوترون کشت شدند.

اوره‌آز به‌سرعت تجزیه می‌شوند. هرچند شفاف نیست که فعالیت آنزیمی به دلیل حضور خود آنزیم یا وجود ماده آلی در خاک است اما احتمال داده شده دارای اثر متقابل هستند؛ بنابراین آنزیم‌ها و ماده آلی هر دو شاخص‌هایی برای ارزیابی کیفیت خاک هستند (Wang et al., 2012).

فعالیت آنزیمی خاک برای ارزیابی عملکرد اکوسیستم مهم است (Adamczyk et al., 2014). فعالیت‌های آنزیمی خاک نقش اساسی در فرآیندهای بیوشیمیایی خاک دارند و اغلب به‌عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی شرایط احیای خاک در اکوسیستم‌های مختلف استفاده شده است (Nannipieri et al., 2012, Araújo et al., 2013, da Silva Lino et al., 2016, et al., 2012). فعالیت‌های آنزیمی به دو صورت مطلق و ویژه بیان می‌شوند (Salazar et al., 2011). بسیاری پژوهش‌ها کاربرد فعالیت آنزیمی ویژه را در هر واحد ماده آلی خاک یا کربن زی‌توده میکروبی توصیه کردند (Wang et al., 2012, Medeiros et al., 2015, Raiesi and Beheshti 2014). فعالیت آنزیمی در هر واحد ماده آلی خاک نقش مهمی در درک ارتباط متقابل بین آنزیم‌ها و مواد مغذی خاک دارد و بیان‌کننده حالت‌های مواد مغذی از جنبه ماده آلی و میکروارگانیسم‌هاست (Wang et al., 2012).

ریزوترون ابزاری پرکاربرد در پژوهش‌های ریشه است که بنا بر اهداف پژوهش به شکل‌ها و ابعاد مختلف ساخته شده است. در اکثر موارد از ریزوترون‌ها برای پژوهش‌های ویژگی‌های انفرادی ریشه‌های گیاهان استفاده شده است. با این حال برخی از پژوهش‌ها در حالت‌های کشت خالص و آمیخته نیز به پژوهش اثرهای رقابت ریشه نیز پرداخته‌اند (Liu et al., 2014, Cesarz et al., Fender et al., 2013, Fang et al., 2013, 2013). با این حال این پژوهش‌ها

استفاده از روش (Kandeler 1996) اندازه‌گیری شد و در نهایت بر اساس واحد میکروگرم نیتروژن آزاد شده در گرم خاک خشک در یک ساعت محاسبه و بیان شد. مقدار ماده آلی موجود نمونه‌های خاک از روش سوزاندن (Ben-Dor and Banin, 1989) در فصول پژوهش اندازه‌گیری شد. مقدار فعالیت ویژه اوره‌آز با تقسیم فعالیت مطلق آنزیمی بر مقدار ماده آلی محاسبه شد. اثر کلی حضور نهال در طی پژوهش بر مقدار فعالیت اوره‌آز با محاسبه میانگین فعالیت در تیمارهای متفاوت کشت در هر یک از فصول پژوهش به صورت جداگانه محاسبه شد.

مقدار رویش متوسط قطری و ارتفاعی با اندازه‌گیری قطر یقه و ارتفاع نهال‌ها در انتهای دوره آزمایش و تقسیم بر سن نهال‌ها محاسبه شد. مقدار زی‌توده ساقه و ریشه نیز در انتهای دوره آزمایش پس از قطع نهال‌ها با استفاده از روش وزن کردن پس از قرار دادن به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها و سازمان‌دهی آنها، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلکس و یکنواختی واریانس‌ها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. داده‌هایی که از توزیع نرمال برخوردار نبود (فعالیت مطلق و ویژه اوره‌آز، مقدار ماده آلی، زی‌توده ساقه و ریشه، رویش متوسط سالانه قطر) با استفاده از تبدیل جانسون نرمال شد. از آنالیز واریانس یک متغیره برای پژوهش تأثیر ترکیب گونه‌ای و فصل بر فعالیت مطلق و ویژه آنزیم اوره‌آز و نیز به‌منظور اثر ترکیب کشت گونه بر مقدار رویش قطری و ارتفاع و مقدار زی‌توده ریشه و ساقه استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 انجام شد.

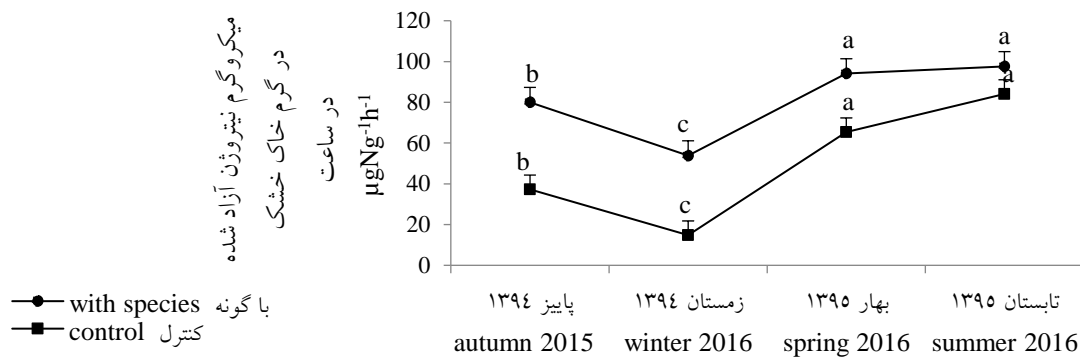
ریزوترون‌های نوین مورد استفاده در این پژوهش برگرفته از ریزوترون‌های دوبخشی (double-split-root rhizotron) ساخته شده توسط Cesarz و همکاران (2013) و Fender و همکاران (2013) است که تغییرات اندکی شامل مواد مورد استفاده در ساختمان ریزوترون و ارتقای کاربرد آن ایجاد شد. تمامی صفحات ریزوترون شفاف و از جنس پلی‌کربنات بود و امکان نمونه‌برداری خاک در هر زمان توسط تعبیه صفحه متحرک عقب ریزوترون فراهم شد. پایه ریزوترون امکان قرارگیری آن در زاویه دلخواه ۳۰ تا ۴۵ درجه، به‌منظور رشد ریشه‌ها به سمت صفحه عقب ریزوترون را میسر می‌ساخت. ۱۲ عدد درگاه (درگاه دستیابی رستری، Raster Acces Port) برای گرفتن تراوش ریشه تعبیه شد. این درگاه‌ها در اعماق و فواصل مشخص از یکدیگر ایجاد شد تا امکان محاسبه تغییرات مکانی ترشح آنزیم‌های ریشه را فراهم سازد. ریزوترون‌ها در دو عمق پایین‌تر (۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) از خاک معدنی و در دو عمق بالاتر (۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر) از ترکیب خاک و لاشبرگ (چهار درصد وزنی) پر شدند.

در این تحقیق دو گونه بلندمازو و پلت در کشت خالص و آمیخته در ریزوترون کاشته شد. آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. ۱۸ ریزوترون ساخته شد که در پنج ریزوترون بلندمازو به صورت خالص، در پنج ریزوترون پلت به صورت خالص، در پنج ریزوترون دو گونه به صورت آمیخته کشت شد و سه ریزوترون به‌عنوان کنترل بدون کشت نهال بود. طی مدت تحقیق رطوبت در حد ظرفیت مزرعه ثابت نگه‌داشته شد. نمونه‌گیری از محل پشت درگاه‌ها در چهار فصل از پاییز ۱۳۹۴ تا تابستان ۱۳۹۵ انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و مقدار فعالیت مطلق آنزیم اوره‌آز با

نتایج

آمیخته و کنترل به ترتیب برابر ۲۲۳/۶، ۱۷۶/۸، ۳۱۳/۹ و ۱۳۶/۲ $\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$ است. دامنه تغییرات فعالیت آنزیمی در تمامی تیمارهای کشت در فصول پاییز ۹۴، زمستان ۹۴، بهار ۹۵ و تابستان ۹۵ به ترتیب برابر ۲۲۲/۹، ۲۰۲/۸، ۲۱۲/۰ و ۲۹۷/۸ $\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$ است. مقایسه میانگین فعالیت مطلق اوره‌آز در تمامی تیمارهای کشت و در تیمار کنترل در فصول مختلف در شکل ۱ نمایش داده شده است. به‌طور میانگین در تمامی تیمارهای کشت فعالیت مطلق اوره‌آز از پاییز ۹۴ تا تابستان ۹۵ به مقدار ۱۸/۰ درصد افزایش را نشان داد.

فعالیت مطلق اوره‌آز در تیمارهای متفاوت کشت و در فصول مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود ($p < 0.05$) (جدول ۱). روند تغییرات فعالیت مطلق اوره‌آز در طی فصول مختلف پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین مقدار فعالیت مطلق اوره‌آز مربوط به تیمار کشت آمیخته در فصل تابستان ۱۳۹۵ بود ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$) و کمترین مقدار فعالیت مطلق اوره‌آز مربوط به تیمار کنترل در فصل زمستان ۱۳۹۴ بود ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$) (۱۴/۸±۷/۰). دامنه تغییرات فعالیت آنزیمی اوره‌آز در ترکیب کشت بلندمازو، پلت و



شکل ۱- مقایسه فعالیت مطلق اوره‌آز در فضای ریزوسفر ریزوترون‌های حاوی نهال و کنترل در فصول مورد پژوهش (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد بین فصول مختلف است.)

Figure 1. The comparison of absolute Urease activity in rhizosphere of planting treatments and control rhizotrons in different seasons (different letters show significant difference between seasons, $p < 0.05$)

تیمار کنترل (۳/۶۰ درصد) و سپس به ترتیب مربوط به تیمارهای بلندمازو (۷/۴۷ درصد)، پلت (۱/۲۵ درصد) و آمیخته (۹/۱۳ درصد) است. بیشترین درصد افزایش فعالیت در تمامی تیمارها مربوط به بهار ۹۵ بود. تیمار بلندمازو در تمامی فصول پژوهش (به‌جز تابستان ۹۵) و تیمار آمیخته در تمامی فصول پژوهش (به‌جز پاییز ۹۴) بیشترین مقدار فعالیت مطلق اوره‌آز را به خود اختصاص دادند.

طی مدت پژوهش بیشترین افزایش فعالیت مطلق اوره‌آز مربوط به تیمار کشت آمیخته (۸/۴۹ درصد افزایش) است. تیمار کنترل دارای کمترین مقدار فعالیت مطلق اوره‌آز بود (به‌استثنای فصل تابستان ۱۳۹۵ که کمترین مقدار فعالیت در تیمار پلت رخ داد هرچند با تیمار کنترل دارای اختلاف معنی‌دار نیست). کمترین فعالیت در تمامی تیمارها مربوط به فصل زمستان است. بیشترین مقدار کاهش فعالیت مطلق اوره‌آز در زمستان ۹۴ نسبت به پاییز ۹۴ مربوط به

جدول ۱- مقایسه فعالیت مطلق اوره‌آز (میانگین ± اشتباه معیار) (میکروگرم نیتروژن در گرم خاک خشک در ساعت) در فضای ریزوسفر ترکیب‌های متفاوت کشت طی سال

Table 1. Comparison of absolute urease activity (mean ± SE) ($\mu\text{g N g}^{-1}\text{h}^{-1}$) in rhizosphere of different planting treatments through the year

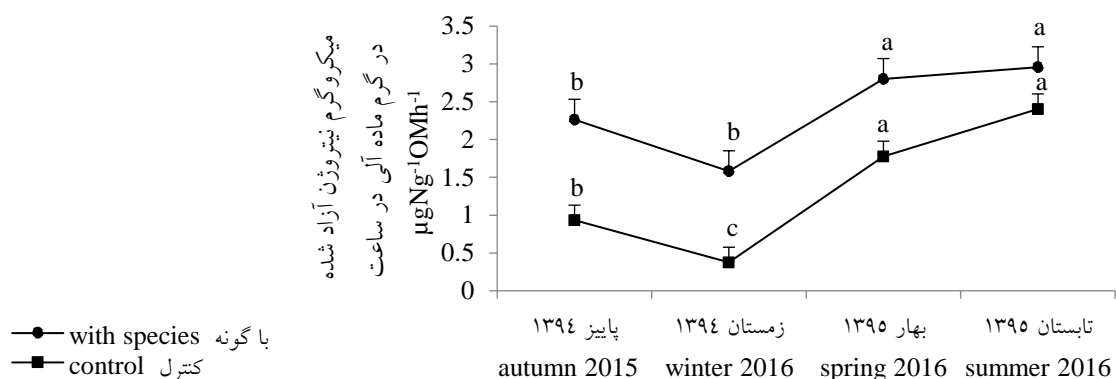
تابستان ۹۵	بهار ۹۵	زمستان ۹۴	پاییز ۹۴	ترکیب کشت
Summer 2016	Spring 2016	Winter 2016	Autumn 2015	Planting treatments
98.78±12.84 ^{ABa}	94.56±12.84 ^{Aa}	58.82±12.84 ^{Aa}	112.42±12.84 ^{Aa}	بلندمازو <i>Q. castaneifolia</i>
68.79±9.30 ^{Ba}	82.77±9.30 ^{Aa}	48.59±9.30 ^{Aa}	64.82±9.30 ^{ABa}	پلت <i>A. velutinum</i>
125.18±13.92 ^{Aa}	104.92±13.92 ^{Aa}	54.10±13.92 ^{Ab}	62.86±13.92 ^{Bb}	آمیخته Mixed
97.58±7.26 ^a	94.08±7.26 ^a	53.84±7.26 ^c	80.03±7.26 ^b	میانگین Mean
84.07±6.96 ^{ABa}	65.34±6.96 ^{Aa}	14.80±6.96 ^{Bc}	37.32±6.96 ^{Bb}	کنترل Control

*در هر ردیف حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است. **حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در هر ستون در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

*Different small letters show significant difference ($P < 0.05$) in each row. **Different capital letters show significant difference ($P < 0.05$) in each column.

۱۳۹۵ ($1.6 \pm 0.4 \mu\text{gNg}^{-1}\text{OMh}^{-1}$) و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار کنترل در فصل زمستان ۱۳۹۴ ($0.2 \pm 0.1 \mu\text{gNg}^{-1}\text{OMh}^{-1}$) بود. دامنه تغییرات فعالیت ویژه اوره‌آز در تیمارهای بلندمازو، پلت، آمیخته و کنترل به ترتیب برابر ۵/۵، ۷/۴، ۱۳/۵، ۳/۸ $\mu\text{gNg}^{-1}\text{OMh}^{-1}$ است.

فعالیت ویژه اوره‌آز در تیمارهای متفاوت کشت و در فصول مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود ($p < 0.05$) (جدول ۲). روند تغییرات فعالیت ویژه اوره‌آز طی فصول مختلف در شکل ۲ نمایش داده شده است. بیشترین مقدار فعالیت ویژه اوره‌آز مربوط به تیمار آمیخته در فصل تابستان



شکل ۲- مقایسه فعالیت ویژه اوره‌آز در فضای ریزوسفر ریزوترون‌های حاوی نهال و کنترل در فصول مورد پژوهش (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد بین فصول مختلف است).

Figure 2. The comparison of specific Urease activity in rhizosphere of planting treatments and control rhizotrons in different seasons (different letters show significant difference between seasons, $p < 0.05$)

در تمامی تیمارهای کشت به صورت میانگین با فرا رسیدن فصل زمستان مقدار فعالیت ویژه اوره‌آز ۳۰/۱ درصد کاهش یافت؛ اما به طور مجدد با فرارسیدن فصل بهار فعالیت ویژه اوره‌آز به مقدار ۴۳/۵ درصد افزایش و در تابستان نیز به مقدار ۵/۳ درصد افزایش یافت. در تمامی تیمارهای کشت به صورت میانگین با گذشت زمان از پاییز ۹۴ تا تابستان ۹۵ فعالیت ویژه اوره‌آز به مقدار ۲۳/۵ درصد افزایش یافت. در تیمار کنترل روند افزایش و کاهش فعالیت آنزیمی مانند تیمارهای کشت بود با این تفاوت که در تمامی فصول فعالیت آنزیمی کمتر از تیمارهای کشت بود. در تمامی تیمارهای کشت و کنترل کمترین مقدار فعالیت ویژه اوره‌آز مربوط به فصل زمستان ۱۳۹۴ بود. به استثنای فصل پاییز ۱۳۹۴ که بیشترین مقدار فعالیت ویژه اوره‌آز مربوط به تیمار بلندمازو است لیکن با دیگر تیمارها در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نیست؛ در تمامی فصول تیمار آمیخته بیشترین مقدار فعالیت ویژه اوره‌آز را به خود اختصاص داد.

جدول ۲- مقایسه فعالیت ویژه اوره‌آز (میانگین \pm اشتباه معیار) (میکروگرم نیتروژن در گرم ماده‌ی آلی در ساعت) در فضای ریزوسفر ترکیب‌های متفاوت کشت طی سال

Table 2. Comparison of specific urease activity (mean \pm SE) ($\mu\text{g N g}^{-1}\text{OMh}^{-1}$) in rhizosphere of different planting treatments through the year

تابستان ۹۵ Summer 2016	بهار ۹۵ Spring 2016	زمستان ۹۴ Winter 2016	پاییز ۹۴ Autumn 2015	ترکیب کشت Planting treatments
2.52 \pm 0.33 ^{ABa}	2.54 \pm 0.33 ^{Aa}	1.67 \pm 0.33 ^{Aa}	2.76 \pm 0.33 ^{Aa}	بلندمازو <i>Q. castaneifoli</i>
2.21 \pm 0.42 ^{Ba}	2.46 \pm 0.42 ^{Aa}	1.49 \pm 0.42 ^{Aa}	2.20 \pm 0.42 ^{Aa}	پلت <i>A. velutinum</i>
4.14 \pm 0.60 ^{Aa}	3.40 \pm 0.60 ^{Aa}	1.59 \pm 0.60 ^{Ab}	1.85 \pm 0.60 ^{Ab}	آمیخته Mixed
2.96 \pm 0.27 ^a	2.80 \pm 0.27 ^a	1.58 \pm 0.27 ^b	2.26 \pm 0.27 ^b	میانگین Mean
2.40 \pm 0.20 ^{ABa}	1.78 \pm 0.20 ^{Aa}	0.38 \pm 0.20 ^{Bc}	0.93 \pm 0.20 ^{Ab}	کنترل Control

*در هر ردیف حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است. **حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی دار در هر ستون در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

*Different small letters show significant difference ($P < 0.05$) in each row. **Different capital letters show significant difference ($P < 0.05$) in each column.

بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. زی توده ساقه تیمار آمیخته به ترتیب ۴۰/۹ و ۶۱/۹ درصد بیشتر از تیمار بلندمازو و پلت و زی توده ریشه ۶۱/۳ و ۶۰/۰ درصد بیشتر از تیمار بلندمازو و پلت بود (جدول ۳).

مقایسه رشد متوسط قطری در ترکیب‌های متفاوت کشت نشان داد با وجود عدم وجود اختلاف معنی دار تیمار آمیخته به ترتیب ۱۳/۳ و ۱۰/۸ درصد بیشتر از تیمار بلندمازو و پلت رویش قطری داشته است. از لحاظ رشد ارتفاعی تیمار آمیخته و بلندمازو

جدول ۳- مقایسه رویش متوسط سالانه قطری و ارتفاعی (سانتی متر) و زی توده ساقه و ریشه (گرم) در ترکیب های متفاوت کشت

Table 3. Comparison of average annual height and diameter growth (cm), stem and root biomass (g) in different planting treatments

زی توده ریشه Root biomass	زی توده ساقه Stem biomass	رشد ارتفاعی Height growth	رشد قطری Diameter growth	ترکیب کشت Planting treatments
18.21±8.66 ^a	32.77±7.83 ^a	47.54±3.00 ^a	0.72±0.05 ^a	بلندمازو Oak
18.82± 8.66 ^a	21.11±7.83 ^b	24.73±3.00 ^b	0.74±0.05 ^a	پلت Maple
47.05± 8.66 ^a	55.42± 7.83 ^a	39.44±3.00 ^a	0.83±0.05 ^a	آمیخته Mixed

*حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

*Different letters show significant difference (P<0.05) in each column

بحث

داد. یکی وجود مواد مغذی هدف در فعالیت آنزیمی است (Ren *et al.*, 2016). هر چه ترکیب های حاوی نیتروژن (هدف آنزیم اوره آز) در محیط ریزوسفر بیشتر باشد فعالیت اوره آز به مراتب بیشتر می شود (Ren *et al.*, 2016, Trasar-Cepeda *et al.*, 2008). افزایش فعالیت اوره آز در فصل رشد به افزایش معدنی سازی نیتروژن و کاهش فعالیت آن در فصل استراحت به افزایش ایموبیلیزاسیون نیتروژن نسبت داده شده است (Meier *et al.*, 2017). Hashemi و همکاران (2017) بیان کردند با گذشت زمان و فرآیند تجزیه در طی فرآیند معدنی شدن نیتروژن مقدار آمونیوم کاهش و مقدار نترات افزایش یافته است. نتایج Rajaei and Raiesi (2011) نشان داده است که در تیمار با کمترین مقدار آمونیوم، مقدار فعالیت اوره آز به بیشترین مقدار خود رسیده است؛ بنابراین می توان تغییر در محتوی ترکیبات نیتروژن را یکی از دلایل تغییر در فعالیت آنزیمی با گذشت زمان دانست. همچنین تغییرات فصلی فعالیت آنزیمی را به تغییرات مقدار دما و رطوبت مرتبط دانسته اند (Wallenstein *et al.*, 2009, Nannipieriet *al.*, 2012). از آنجاکه در این پژوهش شرایط کنترل شده و مقدار رطوبت در حد

فعالیت آنزیمی در محیط ریزوسفر دارای دو منشأ است. منشأ اول تراوش آنزیم از ریشه ها، تجزیه سلول های ریشه و رسوب های ریزوسفری حاصل از ریشه هاست (Caravaca *et al.*, 2005; Shao *et al.*, 2015) و منشأ دیگر میکروارگانسیم های ریزوسفر است که فعالیت این میکروارگانسیم ها نیز وابسته به مواد مغذی موجود در محیط ریزوسفر بوده، بیش از نیمی از کربن حاصل از فعالیت خود را از رسوب های ریزوسفری و تراوش های ریشه دریافت می کنند (Van Hees *et al.*, 2005)؛ بنابراین تراوش های ریشه توسط گیاهان یک انرژی کمی برای میکروارگانسیم ها تولید می کند که آنها را به تولید آنزیم های خارج سلولی برای استخراج نیتروژن از ماده آلی خاک تحریک می کند (Phillips *et al.*, 2011, Jones *et al.*, 2004, Kuzyakov and Xu, 2013, Kuzyakov 2010).

در این پژوهش فعالیت اوره آز در محیط ریزوسفر در طی فصول مختلف روند افزایشی را از خود نشان داد به استثنای فصل زمستان که یک کاهش محسوس در روند فعالیت این آنزیم مشاهده شد. تغییرات فصلی در روند فعالیت اوره آز را به چند دلیل می توان نسبت

طبقه‌بندی Busgen و همکاران (1929) نهال‌های مورد پژوهش در تحقیق حاضر دارای دو شکل سیستم ریشه‌ای متفاوت هستند: بلوط با سیستم ریشه‌ای عمودی (Taproot system) و افرا با سیستم ریشه‌ای قلبی شکل (Heart-root system)؛ بنابراین سیستم ریشه‌ای در حالت کشت آمیخته ایجاد آشیان‌های اکولوژیک زیرزمینی متفاوت کرده که موجب کاهش رقابت در حالت بین‌گونه‌ای نسبت به درون‌گونه‌ای شده است. در تأیید این نتایج Lei و همکاران (2012) نیز دلیل افزایش محصول در حالت رقابت بین‌گونه‌ای را نتیجه‌ای از تمایز آشیان‌های اکولوژیک مختلف به دلیل الگوهای مکانی متفاوت ریشه‌دوانی بیان کردند که موجب کاهش رقابت است. همچنین مشخص شده که ریشه‌های راش در حالت رقابت با بلوط رشد سریع‌تری نسبت به حالت رقابت درون‌گونه‌ای دارند (Hertel and leuschner, 2006) که با نتایج این تحقیق موافق است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کشت آمیخته دو نهال با دو نوع سیستم ریشه‌دوانی متفاوت، تولید آشیان‌های اکولوژیک متفاوت در خاک خواهند کرد که موجب افزایش زی‌توده ریشه، افزایش ترشح و تراوش آنزیم اوره‌آز و در نهایت معدنی‌سازی نیتروژن خواهد شد.

Fang و همکاران (2013) نشان دادند که فعالیت اوره‌آز با مقدار کربن و نیتروژن زی‌توده میکروبی دارای همبستگی ضعیفی است. این نتیجه از این نظریه حمایت می‌کند که گیاهان آنزیم‌ها را به خاک از طریق تراوش‌های ریشه و نیز بعد از مرگ و جدا شدن از سلول‌ها رها می‌سازند (Bue'e et al., 2009). در تأیید این نتایج Meier و همکاران (2017) نیز تأیید کرده‌اند که تراوش ریشه موجب تحریک میکروب‌ها در تجزیه ماده آلی خواهد شد و نیتروژن را بدون تغییر در زی‌توده میکروبی افزایش خواهد داد.

ظرفیت مزرعه ثابت نگه‌داشته شده بود این مسئله نمی‌تواند دلیل تغییر فعالیت اوره‌آز در پژوهش حاضر باشد.

افزایش رشد ریشه و حضور ریشه‌های موئین موجب تراوش‌های بیشتر ریشه شده که منابع زود تجزیه شونده مواد مغذی در فضای ریزوسفر را فراهم می‌نماید و از دلایل مهم افزایش فعالیت آنزیمی ذکر شده است (Zhang et al., Lambers et al., 2009) که از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است (Zhang et al., 2011). بیشتر بودن فعالیت اوره‌آز در تیمار آمیخته را می‌توان به زی‌توده بیشتر ریشه این تیمار نسبت به دیگر تیمارها نسبت داد؛ زیرا ریشه علاوه بر افزایش تراوش‌ها و رسوب‌های ریزوسفری، به دلیل داشتن ترکیب‌های بازگشت‌پذیر با دسترسی آسان‌تر می‌تواند موجب افزایش فعالیت اوره‌آز در محیط ریزوسفر شود. Liu و همکاران (2014) نیز بالاترین مقدار فعالیت اوره‌آز را در ماه جولای مشاهده کردند که هم‌زمان با بالاترین زی‌توده ریشه سه کلون صنوبر بود. نتایج این تحقیق نشان داد در حالت رقابت بین‌گونه‌ای (در تیمار کشت آمیخته) زی‌توده ریشه بیشتر از حالت رقابت درون‌گونه‌ای (تیمارهای کشت بلندمازو یا پلت) است (جدول ۳). تحقیق Fruleux و همکاران (2016) نیز نشان داد ریشه‌های راش در رقابت با بلوط زی‌توده بیشتری دارند. ایشان دلیل این امر را ویژگی‌های عملکردی متفاوت این دو گونه و نیز تخصیص آشیان‌های اکولوژیک زیرزمینی متفاوت حتی در آزمایش‌های گلخانه‌ای بیان کردند. علاوه بر این Curt and Prevosto (2003) نیز دلیل توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای قلبی شکل (Heart-shaped) راش و سیستم ریشه‌ای دوشکلی بشقاب مانند (plate-like and dimorphic) کاج را به دلیل اشغال سطوح مختلف خاک توسط دو گونه رقیب بیان کردند. بنا بر

شاخص‌های ویژه خاک مانند فعالیت ویژه اوره‌آز در مقایسه با شاخص‌های مطلق قادر به طبقه‌بندی دقیق‌تر خاک بر طبق ویژگی‌های کلی آنهاست (Jiménez et al., 2017). Tückmantel و همکاران (2017) تفاوت در تراوش ریشه را به‌عنوان نتیجه‌ای از تغییر در مورفولوژی ریشه مانند قطر ریشه و ویژگی‌های معماری سیستم ریشه‌ای بیان کردند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که فعالیت آنزیمی اوره‌آز در تیمار کشت آمیخته بلندمازو و پلت بیشتر از دیگر تیمارهای مورد پژوهش است و در تمامی تیمارها مقدار فعالیت اوره‌آز از ابتدا تا انتهای آزمایش روند افزایشی را نشان داد. در تمامی فصول مقدار فعالیت اوره‌آز در تیمارهای کشت بالاتر از تیمار کنترل بود. هم‌زمان با فعالیت اوره‌آز بالاتر در تیمار آمیخته، زی‌توده ریشه نیز در تیمار آمیخته بالاترین مقدار را نسبت به دیگر تیمارها به خود اختصاص داد. این حالت بیانگر تخصیص آشیان اکولوژیک متفاوت دو گونه براساس سیستم ریشه‌دوانی آنهاست که موجب کاهش رقابت در حالت بین‌گونه‌ای شده است. بر اساس این نتایج دو گونه بلندمازو و پلت در حالت کشت آمیخته همزیستی مسالمت‌آمیزی داشتند و از کشت خالص خاک را حاصلخیزتر خواهند کرد. بر اساس این نتایج می‌توان گفت دلیل اصلی افزایش فعالیت اوره‌آز در محیط ریزوسفری رشد بیشتر ریشه است.

فعالیت ویژه اوره‌آز در هر واحد کربن آلی خاک به‌طور تقریبی از الگوی یکسانی مانند فعالیت مطلق در طی فصول مختلف پیروی کرد که مشابه با نتایج (Raiesi and Beheshti و Medeiros و همکاران (2017) است. این پژوهش‌ها اثبات کردند تغییرات فعالیت آنزیمی خاک ممکن است بدون توجه به مقدار کربن آلی خاک رخ دهد. Trasar- Cepeda و همکاران (2008) نشان دادند که میکروارگانیزم‌ها به‌طور مستقیم مسئول افزایش فعالیت ویژه اوره‌آز نیستند. فعالیت اوره‌آز ویژه ارتباط قوی‌تری با پویایی کربن و ذخایر کربن خاک نسبت به فعالیت مطلق دارد (Raiesi and Beheshti., 2015). این مسئله مشخص نیست که آیا تغییر در فعالیت آنزیمی به دلیل تغییر در مقدار ماده آلی یا دیگر شرایط زیست‌محیطی خاک است، یک راه‌حل برای این مسئله محاسبه فعالیت آنزیمی در هر واحد کربن آلی (فعالیت آنزیمی ویژه) است (Barriuso et al., 1998). Macci و همکاران (2012) نشان دادند افزایش فعالیت ویژه اوره‌آز بیشتر تحت تأثیر رشد ریشه است؛ و حضور ریشه‌ها موجب افزایش فعالیت اوره‌آز خواهد شد. ایشان بیان کردند فعالیت ویژه اوره‌آز با گذشت زمان در خاک افزایش می‌یابد که قابل استناد به تراوش‌های ریشه است. نتایج این تحقیق نیز تأییدکننده اهمیت تراوش ریشه در محیط ریزوسفر و برتری تراوش ریشه به‌عنوان سوبسترا بر مقدار ماده آلی خاک برای فعالیت اوره‌آز در ریزوسفر نهال‌های تحت پژوهش است.

References

- Adamczyk, B., P. Kilpeinen, V. Kitunen & A. Smolander, 2014. Potential activities of enzymes involved in N, C, P and S cycling in boreal forest soil under different tree species. *Pedobiologia*, 57 (2): 97–102.
- Araújo, A.S.F., S. Cesarz, L.F.C. Leite, C.D. Borges, S.M. Tsai & N. Eisenhauer, 2013. Soil microbial properties and temporal stability in degraded and restored lands of Northeast Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, 66: 175–181.
- Barriuso, E., M. Perez-Mateos & S. Gonzalez-Carcedo, 1988. Actividad específica del suelo. *Agrochimica*, 32: 284-294.
- Ben-Dor, E. & A. Banin, 1989. Determination of organic matter content in arid zone soils using a simple "loss-on-ignition" method.

- Community Soil Science and Plant Analysis*, 20(15-16): 1675-1695.
- Brunel, C., R. Gros, F. Ziarelli & A.M.F.D. Silva, 2017. Additive or non-additive effect of mixing oak in pine stands on soil properties depends on the tree species in Mediterranean forests. *Science of the Total Environment*, 590–591: 676–685.
 - Bue´e, M., W.D. Boer, F. Martin, L. van Overbeek & E. Jurkevitch, 2009. The rhizosphere zoo: An overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. *Plant Soil*, 321: 189–212.
 - Busgen, M., E. Munch & T. Thomsom, 1929. The structure and life of forest trees. Chapman and Hall, London, pp. 436.
 - Caravaca, F., M. Alguacil, P. Torres & A. Roldin, 2005. Plant type mediates rhizospheric microbial activities and soil aggregation in a semiarid Mediterranean salt marsh. *Geoderma*, 124 (3): 375–382.
 - Cesarz, S., A.C. Fender, F. Beyer, K. Valtanen, D. Gansert, D. Hertel, A. olle, R. Daniel, B. Pfeiffer, C. Leuschner & S. Scheu, 2013. Roots from beech (*Fagus sylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) differentially affect soil microorganisms and carbon dynamics. *Soil biology and biochemistry*, 6: 123-32.
 - Curt, T. & B. Prevosto, 2003. Root biomass and rooting profile of naturally regenerated beech in mid-elevation Scots pine woodlands. *Plant Ecology*, 167: 269-282.
 - da Silva, D.K.A., d.O. N. Freitas, R.G. de Souza, F.S.B. da Silva, A.S.F. de Araujo & L.C. Maia, 2012. Soil microbial biomass and activity under natural and regenerated forests and conventional sugarcane plantations in Brazil. *Geoderma*, 189–190: 257–261.
 - Fang, S., D. Liu, Y. Tian, S. Deng & X. Shang, 2013. Tree Species Composition Influences Enzyme Activities and Microbial Biomass in the Rhizosphere: A Rhizobox Approach. *PLoS ONE*, 8(4): 1-11.
 - Fender, A.C., D. Gansert, H.F. Jungkunst, S. Fiedler, K. Schützenmeistera, B. Thieled, K. Valtanene, A. Polleec, F. Beyer & C. Leuschnera, 2013. Root-induced tree species effects on the source/sink strength for greenhouse gases (CH₄, N₂O and CO₂) of a temperate deciduous forest soil. *Soil biology and biochemistry*, 57: 587-597.
 - Fruleux, A., D. Bonal & M.B. Bogeat-Triboulot, 2016. Interactive effects of competition and water availability on above- and below-ground growth and functional traits of European beech at juvenile level. *Forest Ecology and Management*, 382: 21–30.
 - Garcia, C., A. Roldan & T. Hernandez, 2005. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma*, 124: 193–202.
 - Gianfreda, L., 2015. Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15 (2): 283-306.
 - Hashemi, S. A., S.M. Hojati, S. M. Hoseiny Nasr, M. Asadyan & M. Tafazoll, 2017. Studying soil physical, chemical and net Nitrogen mineralization in plantation and natural stands in Darabkola Forest (Sari). *Journal of Forest Research and Development*, 3 (2): 119-132.
 - Heijden, V.D., R.D. Bardgett & N.M. Van Straalen, 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11 (3): 296–310.
 - Hertel, D. & C., Leuschner, 2006. The in situ root chamber: A novel tool for the experimental analysis of root competition in forest soils. *Pedobiologia*, 50: 217—224.
 - Jiménez, P., G. Marando, R. Josa, M. Ginovart, A. Ras & M. Bonmati, 2017. Comparison of absolute biochemical parameters of undisturbed soils in Mediterranean environments (NE Spain) with corresponding parameters relative to soil organic carbon. *Catena*, 157: 415–423.
 - Jones, D.L., A. Hodge & Y. Kuzyakov, 2004. Tansley review: plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*, 163: 459–480.
 - Kandeler E., 1996. Enzymes involved in nitrogen metabolism: Urease activity by colorimetric technique. In: F. Schinner, R.Ohlinger, E. Kandeler, and R. Margesin (Eds). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp: 171-174.
 - Kuzyakov, Y., 2010. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 42: 1363-1371.
 - Kuzyakov, Y. & X. Xu, 2013. Competition between roots and microorganisms for

- nitrogen: mechanisms and ecological relevance. *New Phytologist*, 198: 656-669.
- Lambers, H., C. Mougel, B. Jaillard & P. Hinsinger, 2009. Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. *Plant Soil*, 321: 83-115.
 - Lino, I.A.N., V.M. dos Santos, I.E.C. Escobar, D.K.A. da Silva, A.S.F. de Araójo & L.C. Maia, 2016. Soil enzymatic activity in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. *Land Degrad. Develop.*, 27: 77-82.
 - Lei, P., M. Scherer-Lorenzen & J. Bauhus, 2012. Belowground facilitation and competition in young tree species mixtures. *Forest Ecology and Management*, 265:191-200.
 - Liu, D., S. Fang, Y. Tian & X. Dun, 2014. Seasonal and clonal variations of microbial biomass and processes in the rhizosphere of poplar plantations. *Applied Soil Ecology*, 78: 65-72.
 - Mao, P., H. Mu, B. Cao, Y. Qin, H. Shao, S. Wang & X. Tai, 2016. Dynamic characteristics of soil properties in a *Robinia pseudoacacia* vegetation and coastal eco-restoration. *Ecological Engineering*, 92:132-137.
 - Macci, C., S. Doni, E. Peruzzi, G. Masciandaro, C. Mennone & B. Ceccanti, 2012. Almond tree and organic fertilization for soil quality improvement in southern Italy. *Journal of Environmental Management*, 95: 215-222.
 - Medeiros, E.V.d., K.A. Notaro, J.A. Barros, W.S. Moraes, A.O. Silva & K.A. Moreira, 2015. Absolute and specific enzymatic activities of sandy Entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas. *Soil and Tillage Research*, 145:208-215.
 - Medeiros, E.V.d., G.P. Duda, L.A.R.d. Santos, J.R.d.S. Lima, J.S.d. Almeida-Cortéz, C. Hammecker, L. Lardy & L. Cournac, 2017. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. *Catena*, 151: 137-146.
 - Meier, I.C., A.C. Finzi & R.P. Phillips, 2017. Root exudates increase N availability by stimulating microbial turnover of fast-cycling N pools. *Soil Biology and Biochemistry*, 106: 119-128.
 - Nannipieri, P., L. Giagnoni, G. Renella, E. Puglisi, B. Ceccanti, G. Masciandaro, F. Fornasier, M.C. Moscatelli & S. Marinari, 2012. Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and Fertility of Soils*, 48 (7): 743-762.
 - Phillips, R.P., A.C. Finzi & E.S. Bernhardt, 2011. Enhanced root exudation induces microbial feedbacks to N cycling in a pine forest under long-term CO₂ fumigation. *Ecology Letters*, 14: 187-194.
 - Raiesi, F. & A. Beheshti, 2014. Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responses to paddy rice cultivation than absolute enzyme activity in primary forests of northwest Iran. *Applied Soil Ecology*, 75: 63-70.
 - Raiesi, F. & A. Beheshti, 2015. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. *Ecological Indicators*, 50: 173-185.
 - Rajaei, F. & F. Raiesi, 2011. The role of superabsorbent in alleviating drought stress and its influence on nitrogen dynamics and soil alkaline phosphatase and urease activities. *Iran Water Research Journal*, 4(7): 13-24.
 - Razavi, B.S., M. Zarebanadkouki, E. Blagodatskaya & Y. Kuzyakov, 2016. Rhizosphere shape of lentil and maize: Spatial distribution of enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 96: 229-237.
 - Salazar, S., L.E. Sánchez, J. Alvarez, A. Valverde, P. Galindo, J.M. Igual, A. Peix & I. Santa-Regina, 2011. Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. *Ecological Engineering*, 37: 1123-1131.
 - Shao, X.X., W.Y. Yang & M. Wu, 2015. Seasonal dynamics of soil labile organic carbon an enzyme activities in relation to vegetation types in Hangzhou Bay tidal flat wetland. *PLoS One*, 10 (11): 1-15.
 - Song, M., Y. Tian, X. Xu, Q. Hu & H. Ouyang, 2006. Interactions between root and shoot competition among four plant species in an alpine meadow on the Tibetan Plateau. *Acta Oecologica*, 29: 214-220.
 - Trasar-Cepeda, C., M.C. Leiro & F. Gil-Sotres, 2008. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 2146-2155.
 - Tückmantel, T., C. Leuschner, S. Preusser, E. Kandeler, G. Angst, G.W. Mueller & I.C. Meier, 2017. Root exudation patterns in a

- beech forest: Dependence on soil depth, root morphology, and environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 107: 188-197.
- Van Hees, P.A.W., D.L. Jones, R. Finlay, D.L. Godbold & U.S. Lundstomd, 2005. The carbon we do not see the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 1-13.
 - Wallenstein, M.D., S.K. McMahon & J.P. Schimel, 2009. Seasonal variation in enzyme activities and temperature sensitivities in Arctic tundra soils. *Global Chang Biology*, 15 (7): 1631–1639.
 - Wang, Z.Y., A. Gottlein & G. Bartonek, 2001. Effects of growing roots of Norway spruce (*Picea abies* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) on rhizosphere soil solution chemistry. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164: 35–41.
 - Wang, B., S. Xue, G.B. Liu, G.H. Zhang, G. Li & Z.P. Ren, 2012. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetation in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena*, 92: 186–195.
 - Xueyong, P., W. Ning, L. Qing & B. Weikai, 2009. The relation among soil microorganism, enzyme activity and soil nutrients under subalpine coniferous forest in Western Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 29: 286–292.
 - Zhang, C., G. Liu, S. Xue & Z. Song, 2011. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 161: 115–125.

The effect of Rhizosphere competition on seasonal variations of absolute and specific urease activities in pure and mixed planting of Chestnut-Leaved Oak and Persian Maple

Y. Sharifpour¹, H. Habashi^{*2} and A. R. AliArab³

1- Ph.D. Student of Silvicultural and Natural Resources, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran.

2- Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran.

3- Assistant Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran.

Received: 10.08.2017

Accepted: 25.12.2017

Abstract

Root competition is one of the restricting factors of plant growth. Plants have different effects on nutrient cycling in rhizosphere during competition with respect to different root physiology and morphology, rooting systems and mixture composition. Rhizosphere is a hot spot with greatest enzyme activities that is affected mainly by roots of plants. Urease enzyme activity is an index of organic nitrogen mineralization and adjustment of nitrogen dynamics in soil. The purpose is to study the variation of absolute and specific urease activities on rhizosphere in pure and mixed planting of *Quercus castaneifolia* and *Acer velutinum* during different seasons. 18 rhizotrons were designed and assembled with sampling capability from different locations of rhizosphere and sequential times. Three planting treatments have five replicate while control have three. Results revealed that there were significant differences ($p < 0.05$) of absolute and specific urease activities between different planting compositions and seasons. Absolute and specific urease activities increased 18.0% and 23.5% respectively in planting treatments from autumn 2015 to summer 2016. Mixed planting and control treatment have the most and the least absolute and specific urease activities respectively during all the studied seasons. Urease activity showed significant decrease in all treatments in winter. Mixed planting with two species have different rooting structure, created complementary ecological nests in the soil space, causing a significant increase in root biomass and urease activity on rhizosphere.

Keywords: Maple, Oak, Rhizotron, Root competition, Urease.

* Corresponding author:

Email: habashi@gau.ac.ir