نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۳۱-٤٦
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2019.16025.1787

پیامد برهم‌کنش ریشه‌ای گونه‌های بلندمازو و پلت درکشت خالص و آمیخته بر تغییرات مکانی تراوش آنزیم اوره‌آز

هاشم حبشی[۱] و *یاسمین شریف‌پور[۲]

[۱]دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
[۲]دانش‌آموخته دکتری دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: برهم‌کنش ریشه از عوامل مهم تأثیرگذار بر آنزیم‌های تراوش‌یافته در فضای ریزوسفری هستند که بسته به ساختار ریشه، نوع گونه و عمق خاک از توزیع مکانی ناهمانندی برخوردارند. تاکنون پژوهش‌های محدودی در رابطه با شناسایی اهمیت مکانی فرآیندهای ریزوسفر گونه‌های جنگلی انجام شده است. گونه‌های درختی با توجه به مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه و نیازمندی‌های مواد مغذی فضای ریزوسفری متفاوتی دارند. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی تراوش آنزیم اوره‌آز در فضای ریزوسفر نهال‌های بلندمازو و پلت در کشت خالص و آمیخته انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۱۸ ریزوترون نوین برای دستیابی به هدف پژوهش به‌کار گرفته شد که هر کدام ۱۲ درگاه دستیابی رستری برای گرفتن تراوش‌های ریشه داشتند. این درگاه‌ها در عمق‌ها و فواصل مشخص از یکدیگر ایجاد شد تا امکان محاسبه تغییرات مکانی آنزیم‌های تراوش‌یافته از ریشه را فراهم سازد. دو عمق پایین‌تر (۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) از خاک معدنی و در دو عمق بالاتر (۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر) از ترکیب خاک و لاشبرگ (٤٪ وزنی) پر شدند. در چهار تیمار ترکیب گونه‌ای خالص بلندمازو و پلت، آمیخته و کنترل (بدون کشت نهال)، نهال‌های یکساله دو گونه بلندمازو و پلت کاشته شدند. نمونه‌برداری از عمق گوناگون خاک ریزوترون‌ها شش ماه پس از کشت گیاهان انجام شد و فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک به روش کاندلر ارزیابی گردید. کارایی آنزیمی در این مقاله با تفاضل فعالیت آنزیمی هر محل مشخص از مقدار متناظر کنترل (بدون ریشه) محاسبه شد و نشان‌دهنده کارایی کاتالیتیکی نیست.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان تراوش اوره‌آز در ترکیب‌های متفاوت کشت در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارد و بیش‌ترین تراوش آنزیم در کشت خالص بلندمازو و آمیخته و کم‌ترین تراوش در کنترل مشاهده گردید. بررسی تغییرات مکانی فعالیت آنزیم اوره‌آز تراوش شده در عمق‌های گوناگون خاک تنها در مورد تیمار آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود. کارایی آنزیم اوره‌آز در عمق‌های گوناگون خاک در تیمارهای کشت خالص پلت و کشت آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود درحالی‌که در فواصل مختلف از یقه نهال فقط در تیمار خالص بلندمازو معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان تراوش اوره‌آز در عمق ۷۵ سانتی‌متری مشاهده شد.

* مسئول مکاتبه: y.asharifpour@gmail.com

نتیجه‌گیری: میزان تراوش مکانی اوره‌آز بیش‌تر وابسته به تراکم ریشه در مکان‌های مختلف است که این مسأله هم وابسته به چگونگی برهم‌کنش ریشه‌ای نهال‌های کشت‌شده و نوع سیستم ریشه‌ای آن‌ها است. در این پژوهش برهم‌کنش ریشه‌ای تیمار آمیخته به‌دلیل ایجاد آشیان‌های اکولوژیک مناسب‌تر موجب افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز شده است. بااین‌حال چون تراوش اوره‌آز در فواصل مختلف از یقه نهال هرگز معنی‌دار نبود، نتایج نشان‌دهنده عدم قطعیت تراوش مکانی اوره‌آز ریزوسفر است.

واژه‌های کلیدی: اوره‌آز، بلندمازو، پلت، ریزوسفر، ریزوترون

مقدمه

برهم‌کنش ریشه‌ای باعث تغییر در رشد نهال‌ها می‌شود و نهال‌های پیروز در برهم‌کنش در استقرار موفق‌تر خواهند بود. تلاش برای کاهش برهم‌کنش زیان‌بار ریشه‌ای نهال‌ها تأثیر چند برابر بر افزایش بقای نهال‌ها نسبت به اقداماتی چون کاهش رقابت نوری و جلوگیری از فعالیت علفخواران داشته است (١٦). بیش‌تر پژوهش‌های ریشه بر مقایسه نسبت زی‌توده و پارامترهای روی زمینی و زی‌توده ریشه (زیرزمینی) تمرکز کرده است و در بررسی‌ها بیش‌تر ویژگی‌های فیزیکی ریشه اندازه‌گیری و آزمون شده است (١٦، ١٨ و ٢٥) درحالی‌که مطالعه اثر برهم‌کنش بر توانایی تراوش‌های ریشه و ترکیب آن در مورد گونه‌های جنگلی با استفاده از ریزوترون در مقایسه با سایر روش‌های مطالعه گونه‌های جنگلی بسیار نادر و محدود است (٩ و ١٤).

فعالیت آنزیمی خاک و کارکرد ریزجانداران ریزوسفری در میان پوشش گیاهی بسیار ناهمگون است و این ناهمگونی تا حد زیادی به اندازه و نوع کربن آلی وابسته است که در خاک رها می‌شود (٤٤). خاستگاه کربن ورودی دارای لاشبرگ و مواد رهاشده از ریشه است (٩ و ٤٤). فعالیت آنزیمی نیز دارای چند خاستگاه است. بسته به نوع آنزیم و شرایط خاک و محیط، آنزیم‌ها می‌توانند دارای خاستگاه میکروبی و قارچی باشند و یا این‌که در مواد مترشحه از ریشه‌های گیاهان باشند (٣٧). تراوش کربن از ریشه‌های درختان باعث تحریک فعالیت میکروبی، افزایش ساخت و رهاسازی آنزیم‌های برون‌یاخته‌ای در ریزوسفر و بهبود فرآیند چرخه نیتروژن خاک خواهد شد (٦).

اوره‌آز از آنزیم‌های چرخه نیتروژن بوده و در معدنی‌سازی ماده آلی خاک نقش دارد. اوره‌آز، نیتروژن آمونیوم را از طریق هیدرولیز اوره رها می‌کند که در خاک از گیاهان و به مقدار کم‌تری از حیوانات و میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند و به‌دلیل توانایی پایداری در تجزیه زیست‌محیطی به شکل‌های آزاد سلولی تجمع می‌یابد (٤٥). اوره‌آز هیدرولیزاسیون پروتئین را در سلول‌های گیاهی افزایش می‌دهد و آمونیوم حاصل از هیدرولیز منبع مغذی مستقیم برای رشد گیاه است؛ بنابراین فعالیت اوره‌آز می‌تواند شرایط نیتروژن خاک را نشان دهد (٤٣). میزان تراوش این آنزیم وابسته به نوع پوشش گیاهی (٤١)، نوع مدیریت عرصه‌های جنگلی (٢٦)، عمق خاک و فصل (٢٧، ٣٤ و ٤٥)، کربن آلی، نیتروژن کل و آلی خاک (٤٤) و نیز حضور یا عدم حضور ریشه در حجم خاک (١٥) متفاوت است.

در فضای ریزوسفر میزان تراوش و فعالیت آنزیمی (از جمله اوره‌آز) بسیار بیش‌تر از حجم خاک فاقد ریشه است که به خاطر حضور ریشه‌ها و تراوش ترکیب‌های مغذی (به‌عنوان سوبسترا برای فعالیت

آنزیمی) و نیز تراوش آنزیم از ریشه‌ها است (۱۵). ریشه‌های گیاهان با ایجاد زیستگاه‌های خرد مناسب برای میکروارگانیسم‌های خاک موجب تحریک فعالیت آنزیمی می‌شوند (٤). تاکنون تلاش‌های محدودی برای مطالعه ارتباط فرآیندهای ریزوسفر با فرآیندهای خاک یا حتی شناسایی اهمیت مکانی فرآیندهای ریزوسفر گونه‌های گیاهی مختلف انجام شده است (۲۲). گونه‌های درختی با توجه به مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه و نیازمندی‌های مواد مغذی فضای ریزوسفری متفاوتی دارند (۳۸). یکی از مهم‌ترین علل عدم موفقیت جنگل‌کاری‌ها، عدم استقرار مناسب سیستم‌های ریشه‌ای نهال‌های جنگلی به‌دلیل برهم‌کنش نامناسب آن‌هاست. پژوهش آنزیم‌های مترشحه از ریشه طی برهم‌کنش‌های بین و درون‌گونه‌ای، نحوه حاصلخیز شدن خاک را پس از استقرار نهال نشان خواهد داد. پژوهش‌های آنزیمی در خاک‌های جنگلی ایران در برخی موارد مانند تأثیر زادآوری جنگل (۳)، مراحل مختلف توالی جنگل (۱)، روشنه در توده‌های جنگلی (۳٦)، ماده آلی (۲۹) و نیز جنگل‌کاری بر فعالیت آنزیمی خاک جنگل (۳۲) توسط پژوهشگران مختلف انجام شده و حتی در برخی موارد علل تغییرات آنزیمی در محیط خاک به حضور بیش‌تر ریشه نسبت داده شده است (۳ و ۳۲). ولی مطالعه تغییرات مکانی تراوش اوره‌آز ریزوسفر با ابزارهای خاص مانند ریزوترون یا سایر ابزارهای مطالعه‌ای ریشه تاکنون در ایران در مورد گونه‌های جنگلی انجام نشده است. هدف این پژوهش بررسی اوره‌آز موجود در محیط ریزوسفر در حالت کشت خالص و آمیخته و نیز در گرادیان‌های افقی و عمودی (عمق‌های گوناگون خاک و فواصل مختلف از یقه نهال) دو گونه نهال بومی جنگلی شامل بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و پلت (*Acer velutinum*) با استفاده از یک نوع ریزوترون نوین است.

مواد و روش‌ها

خاک و لاشبرگ مورداستفاده در این پژوهش از پارسل یک جنگل شصت‌کلاته گرگان جمع‌آوری شد. خاک دارای بافت لومی شامل ۳۹ درصد شن، ۳٦ درصد سیلت و ۲۵ درصد رس بود (جدول ۱). خاک پیش از کشت نهال‌ها یکنواخت شد و دانه‌های درشت و ریشه‌ها با الک کردن جدا شدند. لاشبرگ امساله پلت و بلندمازو از توده‌هایی که شامل این گونه‌ها بود به‌صورت دستی جمع‌آوری شد و در هوای آزاد خشک و ریز شدند تا همگن شوند. نهال‌های یک‌ساله دو گونه بلندمازو و پلت ریشه لخت از نهالستان قرق در زمستان ۱۳۹۳ گزینش شدند و هنگام گزینش اصل همانندی (بر اساس قطر یقه و ارتفاع نهال‌ها) رعایت گردید. در آغاز آزمایش نهال‌های بلندمازو و پلت به‌ترتیب دارای قطر یقه ۰/۳±۱۲/۰ میلی‌متر و ۰/۱±۱۰/٤ میلی‌متر (میانگین± ۱ اشتباه معیار) و میانگین ارتفاعی ۰/۸±۵۵/۲ سانتی‌متر و ۰/۳±۳۲/۱ سانتی‌متر (میانگین± ۱ اشتباه معیار) بودند. پس از انتخاب نهال‌های همگن حفر و ارتفاع ریشه محاسبه گردید، میانگین ارتفاع ریشه نهال‌های بلندمازو و پلت به‌ترتیب برابر ۰/۷ ± ۲۲/۷ سانتی‌متر (میانگین± ۱ اشتباه معیار) و ۱/۹±۲۹/٤ سانتی‌متر (میانگین± ۱ اشتباه معیار) بودند. نهال‌ها در دی‌ماه ۱۳۹۳ در ریزوترون کشت شدند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Physical and chemical characteristics of primary soil.

بافت Texture	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3) Bulk density	٪ کربن آلی %OC	٪ نیتروژن کل %T N	فسفر قابل‌جذب (mg/kg) P	کلسیم کل (mg/kg) T Ca	منیزیم کل (mg/kg) T Mg	سدیم کل (mg/kg) T Na	pH	EC (µs/cm)
لومی Loam	1.001	12.28	0.63	30.5	9380	660	520	7.40	317

ریزوترون‌های نوین مورداستفاده در این بررسی برگرفته از ریزوترون‌های دوبخشی (Double- Split-Root Rhizotron) ساخته‌شده توسط کسارز و همکاران (۲۰۱۳) و فندر (۲۰۱۲) است که تغییرات اندکی در ساختمان ریزوترون برای بهبود کاربرد آن داده شد (۹ و ١٤). همه صفحات ریزوترون شفاف و از جنس پلی‌کربنات بود. امکان نمونه‌برداری خاک در هر زمان به کمک صفحه جابه‌جاشونده پشتی ریزوترون فراهم گردید. پایه ریزوترون امکان قرارگیری آن در زاویه دلخواه °٤٥-°۳۰ برای رشد ریشه‌ها به روی صفحه عقب ریزوترون را میسر می‌ساخت. ۱۲ عدد درگاه دستیابی رستری (Raster Access Port-RAP) برای گرفتن تراوش‌های ریشه تعبیه شد. این درگاه‌ها در عمق‌ها (۱۵، ۳۰، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) و فواصل (فاصله از یقه نهال صفر و ۲۰ سانتی‌متر) مشخص از یکدیگر ایجاد شد تا امکان محاسبه تغییرات مکانی آنزیم‌های تراوش یافته از ریشه را فراهم سازد. بسته به محل درگاه‌ها ریزوترون‌ها در دو عمق پایین‌تر از خاک معدنی و در دو عمق بالاتر از ترکیب خاک و لاشبرگ (٤٪ وزنی) پر شدند. در این پژوهش دو گونه بلندمازو و پلت در کشت خالص و آمیخته در ریزوترون کاشته شد. تیمارها شامل گونه (دو تیمار)، نحوه آمیختگی (دو تیمار) در پنج تکرار بود. به‌این‌ترتیب ۱۸ ریزوترون ساخته شد که در پنج ریزوترون بلندمازو به‌صورت خالص (تیمار بلندمازو)، در پنج ریزوترون پلت به‌صورت خالص (تیمار پلت)، در پنج ریزوترون دو گونه به‌صورت آمیخته (تیمار آمیخته) کشت شد و سه ریزوترون به‌عنوان تیمار کنترل بدون کشت نهال بود. طی مدت پژوهش ریزوترون‌ها در حد رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. تراکم سیستم‌های ریشه‌ای در عمق‌های مختلف با قرار دادن صفحه شطرنجی (عرض شامل ٦ خانه ۱۰ سانتی‌متری و طول شامل ۱۸ خانه ۵ سانتی‌متری) بر روی تصاویر سیستم ریشه‌ای، تعداد خانه شطرنجی با تراکم ریشه بیش از ۵۰ درصد یادداشت گردید. نمونه‌گیری خاک از محل پشت درگاه‌ها در تابستان ١٣٩٤ انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز با استفاده از روش کاندلر (١٩٩٦) اندازه‌گیری شد و بر حسب میکروگرم نیتروژن آزادشده در گرم خاک خشک در ساعت (به‌طور خلاصه میکروگرم نیتروژن) بیان گردید (۲۱). در روش کاندلر از هر نمونه سه زیر تکرار اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان فعالیت آنزیمی هر نمونه در نظر گرفته شد. به‌منظور تعیین فعالیت آنزیمی اوره آز در واحد خشک خاک، مقدار کمی از هر نمونه خاک جدا شد و به مدت ٢٤ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، سپس درصد میزان رطوبت خاک هر نمونه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\{(\text{وزن خاک اولیه} + \text{وزن فویل}) - (\text{وزن خاک در ۱۰۵ درجه} + \text{وزن فویل}) / (\text{وزن خاک اولیه} + \text{وزن فویل})\} * ۱۰۰ \quad (۱)$$

منظور از کارایی آنزیمی در این مقاله تفاضل فعالیت آنزیمی هر محل مشخص از مقدار متناظر کنترل (بدون ریشه) می‌باشد و نشان‌دهنده کارایی کاتالیتیکی نیست. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلکس و یکنواختی واریانس‌ها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس برای مطالعه تأثیر ترکیب گونه‌ای، فاصله افقی و عمودی از یقه نهال بر فعالیت و کارایی آنزیم اوره‌آز تراوش شده در ریزوسفر، تراکم ریشه در عمق‌های مختلف و میزان رطوبت خاک استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام شد. مقایسه مقادیر تراوش اوره‌آز در هر محل مشخص از فضای ریزوسفر با مقدار متناظر کنترل با استفاده از آزمون تی (T) انجام شد. تمام آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد.

نتایج

میانگین تراوش آنزیم اوره‌آز در ریزوترون‌های دارای نهال ۳۶/۹ و در ریزوترون‌های بدون نهال ۱۸/۷ میکروگرم نیتروژن بود. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد فعالیت آنزیم اوره‌آز بین گونه‌های مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). بیش‌ترین تراوش اوره‌آز مربوط به تیمارهای بلندمازو و آمیخته و کم‌ترین تراوش مربوط به تیمار کنترل بود. فعالیت آنزیم اوره‌آز در تیمارهای پژوهش به‌ترتیب برای بلندمازو، پلت و آمیخته به میزان ۲/۳، ۱/٤، ۲/۲ برابر بیش‌تر از تیمار کنترل بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ترکیب گونه بر میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزادشده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت).

Table 2. Mean comparison of species composition effect on urease activity ($\mu gNg^{-1}h^{-1}$).

	تیمار بلندمازو *Q.castaneifolia* treatment	تیمار پلت *A.velutinum* treatment	تیمار آمیخته Mixed treatment	تیمار کنترل Control treatment	درجه آزادی df	سطح معناداری sig
فعالیت آنزیم اوره‌آز Urease activity	42.78^{a}	26.20^{ab}	41.70^{a}	18.71^{b}	3	0.013
درصد رطوبت خاک Soil humidity%	44.00^{a}	41.37^{a}	41.71^{a}	44.20^{a}	3	0.382

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ردیف می‌باشد.

Different letters means significant difference in each row ($P<0.05$).

همبستگی معنی‌داری بین درصد رطوبت خاک و میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز مشاهده نشد (ضریب پیرسون ۰/۰۸٤- و سطح معنی‌داری ۰/٥٤٥). میزان تراوش اوره‌آز در تیمار کنترل در عمق‌های مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نبود. تغییرات تراوش اوره‌آز در عمق‌های گوناگون خاک ریزوترون تنها در تیمار آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در تمامی تیمارهای پژوهش بیش‌ترین میزان تراوش اوره‌آز مربوط به عمق ۷۵ سانتی‌متری و کم‌ترین آن مربوط به عمق‌های اول و دوم نمونه‌برداری بود. میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز در میانگین عمق‌های سوم و چهارم به‌ترتیب برای تیمارهای بلندمازو، پلت، آمیخته و کنترل به میزان ۱/۵۷، ۰/۳۷، ۳، ۱/۱۳ برابر بیش‌تر از میانگین عمق‌های اول و دوم نمونه‌برداری بود. مقایسه فعالیت اوره‌آز با کنترل تنها در عمق ۷۵ سانتی‌متر در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر عمق نمونه‌برداری بر فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزادشده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت).

Table 3. Mean comparison of sampling depth effect on urease activity ($\mu gNg^{-1}h^{-1}$).

تیمار کنترل* Control treatment*	تیمار آمیخته* Mixed treatment*	تیمار پلت *A. velutinum* treatment	تیمار بلندمازو *Q.castaneifolia* treatment	عمق خاک Soil depth
10.28*	24.89[a]	19.61[a]	32.29[a]	۱۵ سانتی‌متر 15cm
22.56	16.33*	11.91[a]	31.97[a]	۳۰ سانتی‌متر 30cm
21.87	63.70[a]	33.71[a]	45.54[a]	۵۰ سانتی‌متر 50cm
15.57	60.03[a**]	52.39[a**]	55.40[a**]	۷۵ سانتی‌متر** 75cm**
0.682	0.008	0.115	0.604	سطح معناداری Sig

* به‌دلیل عدم وجود تکرار کافی در نمونه‌برداری امکان مقایسه میانگین وجود نداشت.

** مقایسه فعالیت اوره‌آز با مقدار متناظر کنترل در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است.

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می‌باشد.

* Because of the lack of sufficient repetition, mean comparison wasn't possible.
** Comparison of urease activity with corresponding amount of control was significant (P<0.05).
Different letters means significant difference in each column (P<0.05).

تغییرات کارایی اوره‌آز ریزوسفر در عمق‌های گوناگون خاک در جدول ٤ نمایش داده شده است. این تغییرات در تیمار پلت و آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود. به‌طور قابل‌توجهی در عمق ۷۵ سانتی‌متری میزان کارایی اوره‌آز نسبت به سایر عمق‌ها بیش‌تر بود. میزان کارایی اوره‌آز به‌طور میانگین در عمق‌های ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری نسبت به عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری به‌ترتیب در تیمارهای بلندمازو، پلت و آمیخته به میزان ۲/۰، ۳٦/۹، ۱۰/۳ برابر بیش‌تر بود. مقایسه کارایی اوره‌آز با مقدار متناظر کنترل تنها در عمق ۷۵ سانتی‌متری در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر عمق نمونه‌برداری بر کارایی آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزادشده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت).

Table 4. Mean comparison of sampling depth effect on urease efficiency ($\mu gNg^{-1}h^{-1}$).

تیمار آمیخته* Mixed treatment*	تیمار پلت *A. velutinum* treatment	تیمار بلندمازو *Q. castaneifolia* treatment	عمق خاک Soil depth
14.61[b]	9.33[a]	22.01[a]	۱۵ سانتی‌متر 15cm
-6.23*	-10.65[c]	9.41[a]	۳۰ سانتی‌متر 30cm
41.82[a]	11.84[b]	23.67[a]	۵۰ سانتی‌متر 50cm
44.46[a]	36.82[a]	39.83[a]	۷۵ سانتی‌متر** 75cm**
0.040	0.002	0.425	سطح معناداری Sig

* به‌دلیل عدم وجود تکرار کافی در نمونه‌برداری امکان مقایسه میانگین وجود نداشت.

** مقایسه فعالیت اوره‌آز با مقدار متناظر کنترل در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است.

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می‌باشد.

* Because of the lack of sufficient repetition, mean comparison wasn't possible.
** Comparison of urease activity with corresponding amount of control was significant (P<0.05).
Different letters means significant difference in each column (P<0.05).

میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز در فواصل مختلف از یقه نهال در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۵). بیش‌ترین میزان فعالیت اوره‌آز در تیمارهای بلندمازو و آمیخته در فاصله ۲۰ سانتی‌متری یعنی در بین دو اصله نهال بود. در مورد تیمار پلت وضعیت متفاوت بود و بیش‌ترین میزان فعالیت اوره‌آز در مجاورت یقه نهال مشاهده شد؛ بنابراین افزایش یا کاهش فاصله از یقه نهال همیشه نشان‌دهنده افزایش یا کاهش فعالیت اوره‌آز نیست. همانند تغییرات مکانی مرتبط با عمق خاک، تغییرات مکانی مرتبط با فاصله از نهال در تیمار کنترل نیز از الگوی کاهشی یا افزایشی مشخصی پیروی نکرد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر فاصله از یقه نهال بر فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزادشده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت).

Table 5. Mean comparison of distance from seedlings' collar effect on urease activity ($\mu gNg^{-1}h^{-1}$).

فاصله از یقه نهال Distance from seedling collar	تیمار بلندمازو *Q. castaneifolia* treatment	تیمار پلت *A. velutinum* treatment	تیمار آمیخته Mixed treatment	تیمار کنترل* Control treatment*
صفر سانتی‌متر (بلوط) 0 cm (oak)	33.77[a]	30.97[a]	29.33[a]	31.26*
۲۰ سانتی‌متر 20 cm	64.50[a]	22.46[a]	53.77[a]	19.42
صفر سانتی‌متر (افرا) 0 cm (maple)	44.30[a]	27.55[a]	37.11[a]	15.78
سطح معناداری Sig	0.364	0.908	0.084	0.502

* به‌دلیل عدم وجود تکرار کافی در نمونه‌برداری امکان مقایسه میانگین وجود نداشت.

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می‌باشد.

مقایسه فعالیت اوره‌آز با مقادیر کنترل متناظر فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد بود.

* Because of the lack of sufficient repetition, mean comparison was not possible.

Different letters means significant difference in each column ($P<0.05$).

Comparison of urease activity with corresponding amount of control was not significant ($P<0.05$).

میزان کارایی آنزیم اوره‌آز در فواصل مختلف از یقه نهال تنها در تیمار بلندمازو در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ٦). میزان کارایی آنزیم اوره‌آز در فواصل مختلف از یقه نهال در سطح احتمال ۹۵ درصد در سایر تیمارها فاقد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ٦). در بین تیمارها بیش‌ترین میزان کارایی آنزیم اوره‌آز مختص به تیمار آمیخته در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از یقه نهال بود (جدول ٦).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر فاصله از یقه نهال بر کارایی آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزادشده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت).

Table 6. Mean comparison of distance from seedlings' collar effect on urease efficiency ($\mu gNg^{-1}h^{-1}$).

تیمار آمیخته Mixed treatment	تیمار پلت *A. velutinum* treatment	تیمار بلندمازو *Q. castaneifolia* treatment	فاصله از یقه نهال Distance from seedling collar
-1.93[a]	-0.29[a]	2.51[b]	صفر سانتی‌متر (بلوط) 0cm (oak)
34.35[a]	3.04[a]	45.08[a]	۲۰ سانتی‌متر 20cm
21.33[a]	11.77[a]	28.52[a]	صفر سانتی‌متر (افرا) 0cm (maple)
0.090	0.554	0.046	سطح معناداری Sig

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می‌باشد.

مقایسه کارایی اوره‌آز با مقادیر کنترل متناظر فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد بود.

Different letters means significant difference in each column (P<0.05).
Comparison of urease activity with corresponding amount of control wasn't significant (P<0.05).

همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است تراکم سیستم ریشه‌ای در تیمارهای بلندمازو و آمیخته بیش‌تر است و در تمامی تیمارها سیستم ریشه‌ای در عمق‌های پایین‌تر از تراکم بالاتری برخوردار بود.

نتایج مطالعه تراکم سیستم ریشه‌ای نشان داد در عمق بیش‌تر، تراکم ریشه بیش‌تر است (جدول ۷).

شکل ۱- نمایش سیستم ریشه‌ای ریزوترون‌های تیمار آمیخته، پلت و بلندمازو (از راست به چپ).

Figure 1. Showing of root systems in rhizotrons of mixed, *A. velutinum* and *Q. castaneifolia* treatments (from right to left).

جدول ۷- مقایسه میانگین تراکم ریشه در عمق‌های مختلف خاک تیمارهای کشت.

Table 7. Mean comparison of root density at different soil depth in different planting treatments.

عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	تیمار بلندمازو *Q. castaneifolia* treatment	تیمار پلت *A. velutinum* treatment	تیمار آمیخته Mixed treatment	سطح معناداری Sig
0-15	1.67 ± 0.33^{cA}	2.0 ± 0.58^{dA}	2.00 ± 0.00^{bA}	0.787
15-30	2.67 ± 0.33^{bA}	3.0 ± 0.00^{cA}	3.00 ± 0.00^{bA}	0.422
30-50	3.75 ± 0.25^{aB}	$4.00\pm0.00b^{AB}$	5.00 ± 0.41^{aA}	0.025
50-75	4.00 ± 0.00^{aB}	5.00 ± 0.00^{aA}	5.40 ± 0.24^{aA}	$4.35*10^{-5}$
75-90	4.00 ± 0.00^{aB}	5.00 ± 0.00^{aA}	5.67 ± 0.33^{aA}	0.003
میانگین average	3.33 ± 0.23^{B}	3.94 ± 0.29^{AB}	4.39 ± 0.35^{A}	0.047
سطح معناداری Sig	$5.54*10^{-14}$	$5.25*10^{-7}$	$2.31*10^{-6}$	------

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می‌باشد.

حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ردیف می‌باشد.

Different small letters means significant difference in each column ($P<0.05$).
Different capital letters means significant difference in each rows ($P<0.05$).

بحث

نتایج مطالعه نشان داد که میزان تراوش اوره‌آز به‌طور اساسی تحت‌تأثیر تراکم سیستم ریشه‌ای در محل‌های مختلف ریزوترون است؛ و برهم‌کنش ریشه‌ای مختلف بین ترکیب‌های کشت مختلف موجب تراکم مکانی متفاوت سیستم ریشه‌ای تیمارها شد. در تمام مکان‌های نمونه‌گیری در تیمارهای کشت میزان تراوش اوره‌آز بیش‌تر از ریزوترون‌های کنترل بود که اهمیت حضور ریشه‌دوانی در خاک را نشان می‌دهد. ریزوسفر باعث افزایش فعالیت آنزیمی در خاک نسبت به حجم خاک فاقد ریشه خواهد شد که میزان این افزایش از یک گونه به گونه دیگر و یا حتی از یک ژنوتیپ به ژنوتیپ دیگر متفاوت است (۱۵). برهم‌کنش ریشه‌ای اثر بسیار مهمی بر فعالیت‌های آنزیمی (برای مثال اوره‌آز و اینورتاز) خاک ریزوسفر دارد (٤٦). برهم‌کنش ریشه‌ای بین تیمارهای مختلف مطالعه به‌دلیل سیستم‌های ریشه‌ای متفاوت دو گونه متفاوت بود؛ بنابراین تراوش اوره‌آز بین تیمارهای مختلف به‌دلیل تشکیل محیط ریشه‌ای و خرد زیستگاه‌های مختلف ریشه‌ای متفاوت بود. هم‌چنین ثابت شده نوع آمیختگی بر میزان فعالیت آنزیمی تأثیر دارد به‌نحوی‌که ترکیب آمیختگی (درصد استقرار هر گونه) باعث تغییر در فعالیت آنزیمی می‌شود (٤١).

مطالعات لی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داده است که پس از احیای پوشش گیاهی در مناطق بیابانی (کشت درختان و درختچه‌ها پس از ۲۰-۳۰ و ۵۱ سال) میزان فعالیت‌های آنزیمی از جمله اوره‌آز در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری افزایش یافته است. ولی میزان فعالیت آنزیمی در عمق ۰-۱۰ بیش‌تر بوده است که به‌دلیل همبستگی بیش‌تر با کربن آلی کل، کربن آلی محلول و نیتروژن کل تحت‌تأثیر ریزوسفر گیاهان بوده است (۲۳)؛ بنابراین تراکم ریزوسفر گیاهان کشت‌شده در عمق‌های مختلف خاک باعث افزایش فعالیت اوره‌آز در دو عمق خاک شده است که در بیش‌تر موارد مشابه با نتایج پژوهش حاضر است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در تیمار آمیخته در دو ژرفای پایین‌تر که فاقد لاشبرگ بود میزان

فعالیت آنزیمی بالاتر است. در برخی پژوهش‌ها فعالیت آنزیمی اوره‌آز از افق O به افق B کاهش‌یافته است (٤٤) و هم‌چنین با افزایش عمق خاک از افق سطحی ۰-۱۵ سانتی‌متری به افق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری فعالیت اوره‌آز کاهش یافته است (۳۳). فعالیت آنزیمی شاخص بیوشیمیایی نوع ماده آلی خاک است (۲۹) و معمولاً با افزایش مقدار ماده آلی خاک تراوش آنزیم اوره‌آز افزایش می‌یابد. از سوی دیگر ثابت شده که تأثیر تراوش‌های ریشه‌ای در محیط ریزوسفر بر فعالیت آنزیمی بیش‌تر از اثر لاشبرگ به‌عنوان یک سوبسترا برای فعالیت آنزیمی است (٤٤). تراکم و پراکنش ریشه‌های مویین در عمق ریزوترون بیش‌تر از افق‌های سطحی است بنابراین افزایش تراوش آنزیم اوره‌آز با افزایش عمق، مرتبط با تراوش‌های ریشه‌ای است. از طرفی حضور نیتروژن به مقدار زیاد می‌تواند مانع فعالیت آنزیم اوره‌آز شود (۲۸). با توجه به دارا بودن نیتروژن قابل‌توجه در لاشبرگ پلت (۱۷)، تراوش کم‌تر آنزیم اوره‌آز در دو عمق حاوی لاشبرگ در این مطالعه می‌تواند به‌دلیل حضور نیتروژن بیش‌تر موجود در لاشبرگ الحاقی باشد. برونل و همکاران (۲۰۱۷) نیز پی بردند در افق‌هایی که میزان نیتروژن و آمونیوم بیش‌تر بوده است میزان فعالیت اوره‌آز کم‌تر از سایر افق‌هاست (۷). شایان ذکر است پیچیدگی‌های رابطه نیتروژن در دسترس و فعالیت آنزیم اوره‌آز زیاد است، چنان‌که در برخی موارد افزودن نیتروژن باعث افزایش فعالیت اوره‌آز در خاک و لاشبرگ شده است (۳۱). برخی مطالعات همبستگی مثبت (٤۳) و برخی همبستگی منفی (۱۰ و ۱۲) بین میزان نیتروژن و فعالیت اوره‌آز را در عمق‌های مختلف خاک تأیید کردند. نتایج فوق نشان‌دهنده عدم قطعیت در توزیع مکانی تراوش اوره‌آز است. در پژوهش‌های مختلف نتایج متفاوت و گاه متناقضی در مورد تغییرات مکانی تراوش اوره‌آز گزارش شده است که نشان می‌دهد درک علمی از فرآیندهای درگیر با تراوش اوره‌آز تا چه حد ضعیف است و باید موارد و متغیرهای بیش‌تری مورد پژوهش قرار گیرد.

بنا بر بیش‌تر پژوهش‌های انجام‌گرفته حضور محصول نهایی حاصل از فعالیت یک آنزیم موجب کاهش فعالیت آن آنزیم هدف در خاک خواهد شد (۷، ۱۰، ۱۲ و ۲۸). ازآنجاکه در دو عمق بالاتر خاک در پژوهش حاضر در اکثر موارد فعالیت آنزیمی در حضور الحاق لاشبرگ به‌عنوان ماده مغذی (که حاوی نیتروژن زیاد است) برخلاف اکثر نتایج قبل (۷، ۱۰، ۱۲ و ۲۸) موجب افزایش فعالیت اوره‌آز نسبت به تیمار کنترل (در عمق ۱۵ سانتی‌متری به میزان ٪٦۸/۱٦+، ٪٤۷/۵۸+، ٪۵۸/۷۰+ و در عمق ۳۰ سانتی‌متری به میزان ٪۲۹/٤۳+، ٪۸۹/٤۲-، ٪۲۷/٦۲- به‌ترتیب در تیمارهای بلندمازو، پلت و آمیخته) شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر حضور تراوش آنزیمی ریشه بسیار بیش‌تر از تأثیر حضور نیتروژن حاوی در لاشبرگ الحاقی بوده است. در دو عمق پایین‌تر خاک نیز میزان فعالیت آنزیمی نسبت به تیمار کنترل افزایش یافت (در عمق ۵۰ سانتی‌متری به‌میزان ٪۵۱/۹۸+، ٪۳۵/۱۲+، ٪٦۵/٦۷+ و در عمق ۷۵ سانتی‌متری به‌میزان ٪۷۱/۹۰+، ٪۷۰/۲۸+، ٪۷٤/۰٦+ به‌ترتیب در تیمارهای بلندمازو، پلت و آمیخته)؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اثر حضور ریشه و تراوش‌های آن در افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز بسیار بیشتر از حضور نیتروژن موجود در لاشبرگ الحاقی بوده است.

فعالیت آنزیمی اوره‌آز در عمق‌های مختلف خاک متفاوت است؛ دلیل دیگر افزایش فعالیت اوره‌آز را افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک به‌تبع حضور بیش‌تر لاشریزه، ریشه و رسوب‌های ریزوسفری بیان کردند (۳۱). در بیش‌تر مطالعات با افزایش عمق میزان فعالیت اوره‌آز کاهش یافته است که به کاهش مواد

مغذی به‌ویژه لاشبرگ و ریشه (۳۰)، کاهش ریشه‌های موئین به‌عنوان فعال‌ترین بخش تراوش و بقایای سلول‌های حاوی آنزیم (۱۹ و ٤۳) نسبت داده شده است. اکسیژن بیش‌تر به‌تبع توزیع مناسب ریشه دلیل دیگر افزایش فعالیت اوره‌آز در خاک ذکر شده است (۳). در مطالعه حاضر به‌دلیل بیش‌تر بودن تراکم ریشه در ژرفای پایین خاک، می‌توان افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز در عمق خاک را به افزایش رشد ریشه نسبت داد.

افزایش یا کاهش فاصله از یقه نهال همیشه نشان‌دهنده افزایش یا کاهش فعالیت اوره‌آز نیست. این مسأله قطعی نیست که با افزایش یا کاهش فاصله از یقه نهال (صفر و ۲۰ سانتی‌متر) فعالیت آنزیمی از یک الگوی کاهشی یا افزایشی مشخص پیروی کند. بلکه نتایج نشان داد بیش‌تر وابسته به تراکم ریشه در هر محل مشخص است و تراکم ریشه هم وابسته به نوع سیستم ریشه‌دوانی گونه‌های مختلف و برهم‌کنش‌های احتمالی آن‌هاست. سیستم ریشه‌ای بلندمازو عمقی[1] دارای ریشه‌ی اصلی و مستقیم است حال آنکه پلت دارای سیستم ریشه‌دوانی افشان[2] با ریشه‌های جانبی و موئین زیاد در قسمت بالایی و پایینی است (۸)؛ بنابراین ریشه‌های جانبی بیش‌تر و سطح ریشه‌ای وسیع‌تری در گونه پلت نسبت به گونه بلندمازو می‌توان انتظار داشت. ریزوسفر شامل بیش‌ترین فعالیت آنزیمی است و با افزایش فاصله از آن این میزان فعالیت آنزیمی کم‌تر می‌شود (۱۵)؛ بنابراین باید انتظار فعالیت آنزیمی بیش‌تری برای گونه پلت داشت درحالی‌که نتایج نشان داد فعالیت آنزیمی در فواصل مختلف از یقه برای ترکیب‌های متفاوت گونه‌ای فاقد اختلاف معنی‌دار است و در ترکیب آمیخته در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از یقه نهال میزان فعالیت آنزیمی بیش‌تر بود. این نتیجه به‌دلیل تقسیم آشیان اکولوژیک خاک بین دو گونه، رشد ریشه‌های جانبی بیش‌تر در این فاصله، افزایش سطح ریشه در این ناحیه و در نتیجه میزان بیش‌تر فعالیت آنزیمی است. در تأیید این نتیجه پژوهش سه کلون صنوبر نیز نشان داد زمانی که بالاترین میزان زی‌توده ریشه حین رشد مشاهده گردید، فعالیت اوره‌آز به بالاترین میزان خود رسید (٢٤). بر این اساس فعالیت بیشتر اوره‌آز در تیمار آمیخته و در اعماق پایین‌تر خاک را می‌توان به توسعه بیش‌تر سیستم ریشه‌ای نسبت داد. تراکم ریشه‌های موئین موجب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های آنزیمی از جمله اوره‌آز خواهد شد (۲۷).

فعالیت اوره‌آز در خاک ریزوسفر تقریباً دو برابر حجم خاک فاقد ریشه بود (٤۲)؛ این افزایش زیاد در فعالیت آنزیمی به‌دلیل حضور تراوش‌های ریشه به‌عنوان یک منبع مغذی و سوبسترا برای فعالیت میکروبی است (۵ و ۱۳) زیرا گیاهان در حدود یک‌سوم تولید فتوسنتزی خود را به شکل ته‌نشست‌ها و تراوش‌های ریزوسفری درون خاک رها می‌سازند (۲۲) و میکروب‌های ریزوسفر نیمی از کربن موردنیاز خود را از تراوش‌های ریشه دریافت می‌کنند (۳۹) که در نهایت فرآیندهای ریشه و ریزوسفر موجب افزایش قابلیت دسترسی مواد مغذی در خاک، ایجاد میکرو زیستگاه‌های مطلوب، افزایش فعالیت میکروبی و فعالیت اوره‌آز می‌شود و شرایطی ایجاد می‌کند که موجب تسریع افزایش معدنی‌سازی نیتروژن آلی خواهد شد (۱۱). نتایج این مطالعه نشان داد فعالیت و کارایی اوره‌آز ریزوسفر به‌دلیل تراکم بیش‌تر ریشه در دو عمق پایین بیش‌تر است که حاصل فعالیت میکروبی القا شده توسط تراوش‌های ریشه یا به‌دلیل رهاسازی آنزیم‌ها از ریشه‌هاست (۲). در نهایت

1- Taproot system
2- Heart root system

می‌توان بیان کرد علت اصلی افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز در دو ژرفای پایین‌تر خاک به‌دلیل تراکم بیش‌تر ریشه‌های موئین حضور سطح بیش‌تر سیستم ریشه‌ای است و تأثیر حضور ریشه بسیار بیش‌تر از الحاق لاشبرگ به‌عنوان سوبستراست.

مقادیر بیش‌تر محتوی آب خاک باعث افزایش بیش‌تر فعالیت اوره‌آز خاک می‌شود (۳٤). گرچه برخی پژوهش‌ها نیز نشان داده که همیشه میزان فعالیت اوره‌آز با قابلیت دسترسی آب همبستگی ندارد (۲۰،۳۵). نتایج این پژوهش هیچ همبستگی معنی‌داری را بین رطوبت خاک و میزان فعالیت اوره‌آز نشان نداد که دلیل آن نگهداری ریزوترون‌ها در رطوبت ظرفیت زراعی طی مدت پژوهش است.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که برهم‌کنش ریشه در حالت کشت آمیخته دو گونه بلندمازو و پلت، تأثیر بیش‌تری بر بهبود کیفیت خاک از طریق افزایش تراوش آنزیم اوره‌آز در فضای ریزوسفر دارد. در حالت آمیخته به‌دلیل توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای و تقسیم آشیان اکولوژیک خاک توانایی تراوش‌های ریزوسفری افزایش خواهد یافت که می‌تواند به‌دلیل افزایش ترشح اوره‌آز از ریشه و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در فضای ریزوسفر به‌دلیل افزایش سایر ترشحات و رسوب‌های ریزوسفری باشد. با توجه به فعالیت و کارایی بیش‌تر اوره‌آز در ژرفای ریزوترون، تأثیر تراوش‌های ریشه در فضای ریزوسفری مهم‌تر از الحاق لاشبرگ در افزایش تراوش اوره‌آز ارزیابی گردید.

منابع

1. Alizadeh, T., Salehi, A., Matinizadeh, M., and Taheri Abkenar, K. 2013. Alteration of dehydrogenase and urease enzymes activity and some chemical properties of soil in different development stages of beech stand (Case study: Rezvanshahr forest). Iranian J. of Forest. 5: 3. 337-347. (In Persian)
2. Badalucco, L., and Kuikman, P.J. 2001. Mineralization and immobilization in the rhizosphere. P 159-196. In: R., Pinton, Z., Varanini, and Nannipieri, P. (eds). The rhizosphere Biochemistry and organic substances at the soil–plant interface. Marcel Dekker, New York.
3. Bagheri, A., Matinizadeh, M., Torabian, Y., and Hemmati, V. 2012. Interaction of soil enzyme activity and regeneration of *Juniperus excelsa* in Chaharbagh habitat of Gorgan. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 19: 4. 621-631. (In Persian)
4. Balota, E.L., Machineski, O., Truber, P.V., and Auler, P.A.M. 2011. Effect of tillage systems and permanent ground cover intercropped with orange trees on soil enzyme activities. Brazilian Archives of Biology and Technology. 54: 221-228.
5. Broughton, L.C., and Gross, K.L. 2000. Patterns of diversity in plant and soil microbial communities along a productivity gradient in a Michigan old field. Oecologia. 125: 420-427.
6. Brzostko, E.R., and Greco, A. 2013. Root carbon inputs to the rhizosphere stimulate extracellular enzyme activity and increase nitrogen availability in temperate forest soils. Biogeochemistry. 115: 65-76.
7. Brunel, C., Gros, R., Ziarelli, F., and Da Silva, A.M.F. 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.
8. Busgen, M., Munch, E., and Thomsom, T. 1929. The structure and life of forest trees. Chapman and Hall, London.
9. Cesarz, S., Fender, A.C., Beyer, F., Valtanen, K., Gansert, D., Hertel, D., olle, A., Daniel, R., Pfeiffer, B., Leuschner, C., and Scheu, S. 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.

10. Dick, R.P., Rasmussen, P.E., and Kerle, E.A. 1988. Influence of long-term residue management on soil enzyme-activities in relation to soil chemical-properties of wheat-fallow system. Biology and Fertility of Soils. 6: 2. 159-164.
11. Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamza, S., Parthasarathy, V.A., and Aipe, K.C. 2010. Physico-chemical, biochemical and microbial properties of the rhizospheric soils of tree species used as supports for black pepper cultivation in the humid tropics. Geoderma. 158: 252-258.
12. Enowashu, E., Poll, C., Lamersdorf, N., and Kandeler, E. 2009. Microbial biomass and enzyme activities under reduced nitrogen deposition in a spruce forest soil. Applied Soil Ecology. 43: 11-21.
13. Fang, S., Liu, D., Tian, Y., Deng, S., and Shang, X. 2013. Tree species composition influences enzyme activities and microbial biomass in the Rhizosphere: A rhizobox approach. PLoS ONE. 8: 4. 1-11.
14. Fender, A.C. 2012. The rhizosphere effects of *Fagus sylvatica* L. and *Fraxinus excelsior* L. saplings on greenhouse gas fluxes between soil and atmosphere. Dissertation zurErlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Georg- August- University Göttingen. 1-185.
15. Gianfreda, L. 2015. Enzymes of importance to rhizosphere processes. J. of Soil Science and Plant Nutrition. 15: 2. 283-306.
16. Gunaratne, A.M.T.A., Gunatilleke, C.V.S., Gunatilleke, I.A.U.N., Madawala Weerasinghe, H.M.S.P., and Burslem, D.F.R.P. 2011. Release from root competition promotes tree seedling survival and growth following transplantation into human-induced grasslands in Sri Lanka. Forest Ecology and Management. 262: 229-236.
17. Hashemi, S.F., Hojati, S.M., and Hosseini Nasr, S.M. 2012. Soil chemical properties, amount of litterfall and nutrients recycling into Caucasian elm, maple and ash plantation stands at Darabkola experimental forest station. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 20: 4. 645-655. (In Persian)
18. Helmisaari, H.S., Derome, J., Nöjdand, P., and Kukkola, M. 2007. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. Tree Physiology. 27: 1493-1504.
19. Jamro, G.M., Chang, S.X., and Naeth, M.A. 2014. Organic capping type affected nitrogen availability and associated enzyme activities in reconstructed oil sands soils in Alberta, Canada. Ecological Engineering. 73: 92-101.
20. Jones, D.L., Hodge, A., and Kuzyakov, Y. 2004. Tansley review: plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. New Phytologist. 163: 459-480.
21. Kandeler, E. 1996. Enzymes involved in nitrogen metabolism: Urease activity by colorimetric technique. P 171-174. In: F., Schinner, R., Ohlinger, E., Kandeler, and R., Margesin (eds). Methods in Soil Biology. Springer-Verlag, BerlinHeidelberg.
22. Kuzyakov, Y., Raskatov, A., and Kaupenjohann, M. 2003. Turnover and distribution of root exudates of Zea mays. Plant Soil. 254: 317-327.
23. Li, J., Tong, X., Awasthi, M.K., Wu, F., Ha, S., Ma, J., Sun, X., and He, C. 2018. Dynamics of soil microbial biomass and enzyme activities along a chronosequence of desertified land revegetation. Ecological Engineering. 111: 22-30.
24. Liu, D., Fang, S., Tian, Y., and Dun, X. 2014. Seasonal and clonal variations of microbial biomass and processes in the rhizosphere of poplar plantations. Applied Soil Ecology. 78: 65-72.
25. Magalhäes, T.M., and Seifert, T. 2015. Tree component biomass expansion factors and root-to-shoot ratio of Lebombo ironwood: measurement uncertainty. Carbon Balance and Management. 10: 9. 1-14.
26. Malý, S., Fiala, P., Reininger D., and Obdrážlková, E. 2014. The relationships among microbial parameters and the rate of organic matter mineralization in forest soils, as influenced by forest type. Pedobiologia. 57: 235-244.

27. Mao, P., Mu, H., Cao, B., Qin, Y., Shao, H., Wang, S., and Tai, X. 2016. Dynamic characteristics of soil properties in a *Robinia pseudoacacia* vegetation and coastal eco-restoration. Ecological Engineering. 92: 132-137.
28. Medeiros, E.V.D., Notaro, K.D.A., Barros, J.A.D., Moraes, W.D.S., Silva, A.O., and Moreira, K.A.D. 2015. Absolute and specific enzymatic activities of sandy entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas. Soil and Tillage Research. 145: 208-215.
29. Raiesi, F., and Beheshti, A. 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.
30. Ren, C., Kang, D., Wu, J.P., Zhao, F., Yang, G., Han, X., Feng, Y., and Ren, G. 2016. Temporal variation in soil enzyme activities after afforestation in the Loess Plateau, China. Geoderma. 282: 103-111.
31. Saiya-Cork, K.R., Sinsabaugh, R.L., and Zak, D.R. 2002. The effects of long-term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an Acer saccharum forest soil. Soil Biology and Biochemistry. 34: 1309-1315.
32. Salehi, A., Matinizadeh, M., Tamjidi, J. 2012. Investigation on effect of forest plantation of *Alnus ghutinosa* L. (Gaertn.) and *Pinus taeda* L. on soil microbial activity and biomass (case study: Geisom site, west of Guilan province, Iran). Iranian J. of Forest and Poplar Research. 20: 2. 334-345. (In Persian)
33. Sardans, J., and Penuelas, J. 2005. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. Soil Biology and Biochemistry. 37: 455-461.
34. Sardans, J., Penuelas, M., and Estiarte, M. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. Applied Soil Ecology. 39: 223-235.
35. Shall, C.N., and Chotte, J.L. 2002. Phosphatase and urease activities in a tropical sandy soil as affected by soil water-holding capacity and assay conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 33: 3745-3755.
36. Taati, S., Rahmani, R., Sagheb-Talebi, Kh., Matinizadeh, M., and Habashi, H. 2015. Influence of gap creation on soil enzymes activity in an oriental beech stand (Case study: Langa control plot). Iranian J. of Forest and Poplar Research. 23: 2. 332-341. (In Persian)
37. Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. P 775-834. In: A.L., Page, R.H., Miller, and D.R., Keeney (eds). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison.
38. Turner, S., Schippers, A., Meyer-Stüve, S., Guggenberger, G., Gentsch, N., Dohrmann, R., Condron, L.M., Eger, A., Almond, P.C., Peltzer, D.A., Richardsonand, S.J., and Mikutta, R. 2014. Mineralogical impact on long-term patterns of soil nitrogen and phosphorus enzyme activities. Soil Biology and Biochemistry. 68: 31-43.
39. Van Hees, P.A.W., Jones, D.L., Finlay, R., Godbold, D.L., and Lundstomd, U.S. 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.
40. Wang, Z.Y., Gttlein, A., and Bartonek, G. 2001. Effects of growing roots of Norway spruce (*Picea abies* L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) on rhizosphere soil solution chemistry. J. of Plant Nutrition Soil Science. 164: 35-41.
41. Wang, B., Xue, S., Liu, G.B., Zhang, G.H., Liand G., and Ren, Z.P. 2012. Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. Catena. 92: 186-195.
42. Weng, B., Xie, X., Yang, J., Liu, J., Lu, H., and Yan, C. 2013. Research on the nitrogen cycle in rhizosphere of *Kandelia obovata* under ammonium and nitrate addition. Marine Pollution Bulletin. 76: 2013. 227-240.

43. Xueyong, P., Ning, W., Qing, L., and Weikai, B. 2009. The relation among soil microorganism, enzyme activity and soil nutrients under subalpine coniferous forest in Western Sichuan. Acta Ecologica Sinica. 29: 286-292.
44. Yin, R., Deng, H., Wang, H.L., and Zhang, B. 2014. Vegetation type affects soil enzyme activities and microbial functional diversity following re-vegetation of a severely eroded red soil in sub-tropical China. Catena. 115: 96-103.
45. Zantua, M., and Bremner, J.M. 1977. Stability of urease in soil. Soil Biology and Biochemistry. 9: 135-140.
46. Zhang, C., Liu, G., Xue, S., Wang, G., Wang, J., Song, Z. 2018. Effects of rhizosphere interactions of grass interspecies on the soil microbial properties during the natural succession in the Loess Plateau. European J. of Soil Biology. 85: 79-88.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 26 (4), 2020
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2019.16025.1787

Effect of root interaction of chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia*) and Persian maple (*Acer velutinum*) in pure and mixed planting on spatial variability of urease enzymes exudation

H. Habashi[1] and *Y. Sharifpour[2]
[1]Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[2]Ph.D. Graduated, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 12.11.2018; Accepted: 06.17.2019

Abstract
Background and Objectives: Root interaction is an important factor that influences enzymes exudations of plant roots in rhizosphere, which have different spatial distribution depending on root structure, species type and soil depth. There are few researches on identifying the spatial importance of rhizosphere processes in forest species. Tree species have different rhizosphere regarding to root morphology and physiology as well as nutrients needs. This research aimed to examine spatial variability of urease enzymes exudation on rhizosphere of chestnut-leaved oak and Persian maple in pure and mixed plantings.

Materials and Methods: 18 modern rhizotrons were applied for this research and 12 Raster-Access-Ports placed in each rhizotron to get root exudates. These ports were in distinct depths and distances to calculate spatial variability of root enzymes exudations. Two lower depths (50 and 75 cm) were filled with mineral soil while two upper depths (15 and 30 cm) were filled with combination of litter (4% of weight). One year old seedlings of *Quercus castaneifolia* and *Acer velutinum* were planted in four treatments of species composition including pure, mixed and control (without planting seedling). Soil samplings were collected 6 months after planting in different soil depth of rhizotrons and urease activity was determined using Kandeler method. Enzyme efficiency was calculated using the differences between enzyme activities in each place and corresponding amount of control (without root) and do not show catalytic efficiency.

Results: The results showed that there is significant difference in urease exudation contents of different planting compositions ($P<0.05$). The most amount of enzyme exudation revealed in the pure oak and mixed planting while the lowest was in control. Spatial variability of urease activity only revealed significant difference in mixed planting treatment ($P<0.05$). However spatial variability of enzyme efficiency was significant in pure maple and mixed planting treatments ($P<0.05$). Urease exudation was not significant in different distances from seedlings' collar with exception of urease efficiency in pure oak planting treatment ($P<0.05$). The highest amount of urease exudation has been observed at the depth of 75 cm.

Conclusion: The amount of spatial exudation of urease is mostly related to root density in different places and this is related to root interaction of planted seedlings and their root systems. This study revealed that root interaction in mixed treatment result in more urease activity and efficiency because of more suitable ecological niche. Because urease exudation in different distances from seedlings' collar was never significant, so results showed uncertainty in spatial exudation of urease.

Keywords: Maple, Oak, Rhizosphere, Rhizotron, Urease

*Corresponding author: y.asharifpour@gmail.com