

آماده انتشار

پیامد برهم کنش ریشه‌ای گونه‌های بلندمازو و پلت در کشت خالص و آمیخته بر تغییرات مکانی

تراوش آنزیم اوره‌آز

چکیده

سابقه و هدف: برهم کنش ریشه از عوامل مهم تأثیرگذار بر آنزیم‌های تراوش یافته در فضای ریزوسفری هستند که بسته به ساختار ریشه، نوع گونه و ژرفای خاک از توزیع مکانی ناهمبندی برخوردارند. تاکنون پژوهش‌های محدودی در رابطه با فرآیندهای ریزوسفر با فرآیندهای خاک یا حتی شناسایی اهمیت مکانی فرآیندهای ریزوسفر گونه‌های گیاهی مختلف انجام شده است. گونه‌های درختی با توجه به مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه و نیازمندی‌های مواد مغذی فضای ریزوسفری متفاوتی دارند. این تحقیق 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 روش: برای دستیابی به هدف تحقیق ۱۸ ریزوترون نوین ساخته و بکاررفت. در هر ریزوترون ۱۲ عدد درگاه دستیابی رستری برای گرفتن تراوش‌های ریشه تعبیه شد. این درگاه‌ها در ژرفا و فواصل 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 ژرفای پایین‌تر (۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) از خاک معدنی و در دو ژرفای بالاتر (۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر) از ترکیب خاک و لاشبرگ (۴٪ وزنی) پر شدند. در چهار تیمار ترکیب گونه‌ای خالص بلندمازو و پلت، آمیخته و کنترل (بدون کشت نهال)، نهال‌های یکساله دو گونه‌ی بلندمازو و پلت کاشته شدند. نمونه‌برداری از ژرفای 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 ژرفای گوناگون خاک تنها در مورد تیمار آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود. کارایی آنزیم اوره‌آز در ژرفای گوناگون خاک در تیمارهای کشت خالص پلت و کشت آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود در حالی‌که در فواصل مختلف از یقه نهال فقط در تیمار خالص بلندمازو معنی‌دار بود. بیشترین میزان تراوش اوره‌آز در ژرفای ۷۵ سانتی‌متری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتیجه‌گیری شد حضور نهال و ترکیب گونه‌ای تأثیر بیشتری از فاصله از یقه نهال و ژرفای گوناگون خاک بر تغییرات مکانی تراوش اوره‌آز طی مدت تحقیق دارد. نتایج این تحقیق نشان دهنده عدم قطعیت در تراوش مکانی اوره‌آز در فضای ریزوسفر است که نشان داد هر گونه گیاهی بر اساس ساختار ریشه‌دوانی خود مناطق ریزوسفری مخصوص خود را دارد و در هر نوع از ترکیب گونه‌ای نیز بسته به برهم کنش میان گیاهان تراوش اوره‌آز ناهمبند خواهد بود.

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

مقدمه

برهم کنش ریشه‌ای باعث تغییر در رشد نهال‌ها می‌شود و نهال‌های پیروز در برهم کنش در استقرار موفق‌تر خواهند بود. تلاش برای کاهش برهم کنش زیانبار ریشه‌ای نهال‌ها تأثیر چندین برابری بر افزایش بقای نهال‌ها نسبت به اقداماتی چون کاهش رقابت نوری و جلوگیری از فعالیت علف‌خواران داشته است (۱۴). بیشتر پژوهش‌های ریشه بر مقایسه‌ی نسبت زی‌توده و پارامترهای روی‌زمینی و زی‌توده‌ی ریشه (زیرزمینی) تمرکز نموده است و در بررسی‌ها بیشتر ویژگی‌های فیزیکی ریشه اندازه‌گیری و آزمون شده است (۱۴،۱۶،۲۲) در حالی‌که مطالعه اثر برهم کنش بر توانایی تراوش‌های ریشه و ترکیب آن بسیار نادر و محدود است (۷،۱۲).

فعالیت آنزیمی خاک و کارکرد ریزجانداران ریزوسفری در میان پوشش گیاهی بسیار ناهم‌اند است و این ناهم‌اندی به اندازه بسیاری وابسته به اندازه و گونه کربن آلی است که در خاک رها می‌شود (۴۱). این کربن ورودی دارای دو خاستگاه لاشبرگ و مواد ره‌اشده از ریشه است (۷،۴۱). فعالیت آنزیمی نیز دارای چند خاستگاه هستند. بسته به نوع آنزیم و شرایط خاک و محیط، آنزیم‌ها می‌توانند دارای خاستگاه میکروبی و قارچی باشند و یا اینکه در تراوش‌های پدید آمده از ریشه‌های گیاهان باشند (۳۳). تراوش کربن از ریشه‌های درختان باعث تحریک فعالیت میکروبی، افزایش ساخت و ره‌سازی آنزیم‌های برون یاخته‌ای در ریزوسفر و بهبود فرآیند چرخه‌ی نیتروژن خاک خواهد شد (۴).

اوره‌آز از آنزیم‌های درگیر در چرخه نیتروژن است. میزان تراوش این آنزیم وابسته به نوع حضور کلونیدهای هموسی-رسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی (۲۳،۳۴،۳۸،۴۱)، نوع مدیریت عرصه‌های جنگلی (۲۳،۲۹،۳۸)، ژرفای خاک و فصل (۳۱،۲۴،۴۲)، کربن آلی، نیتروژن کل و آلی خاک، کربن زی‌توده میکروبی و اکسیدهای آهن و آلومینیم (۲۹،۳۵،۴۱) متفاوت است.

آنزیم‌های خاک نقش اساسی را در معدنی‌سازی مواد مغذی ایفا می‌کنند و فعالیت آن‌ها حس‌گرهای استثنایی در پیشگویی ظرفیت ذخایر مغذی گیاهان است (۳۴). اوره‌آز از مهم‌ترین آنزیم‌های درگیر در معدنی‌سازی ماده‌ی آلی خاک است. اوره‌آز نیتروژن آمونیوم را از طریق هیدرولیز اوره رها می‌کند. در زنجیره‌ی هیدرولیز ترکیبات آمینو ضروری هستند که در خاک از گیاهان و به مقدار کمتری از حیوانات و میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. به‌علاوه این آنزیم بخشی از تولیدهای میکروبی است که می‌تواند در شکل‌های آزاد سلولی تجمع یابد زیرا آن‌ها به میزان زیادی نسبت به تجزیه‌ی زیست‌محیطی پایدار هستند (۴۲). اوره‌آز می‌تواند هیدرولیزاسیون پروتئین را در سلول‌های گیاهی افزایش دهد و آمونیاک حاصل از هیدرولیزاسیون منبع مغذی مستقیم برای رشد گیاه است؛ بنابراین فعالیت اوره‌آز می‌تواند شرایط نیتروژن خاک را نشان دهد (۴۰). در فضای

ریزوسفر میزان تراوش و فعالیت آنزیمی (از جمله اوره‌آز) بسیار بیشتر از حجم خاک فاقد ریشه گزارش شده است که به خاطر حضور ریشه‌ها و تراوش ترکیب‌های مغذی (به‌عنوان سوبسترا برای فعالیت آنزیمی) و نیز تراوش آنزیم از ریشه‌ها است (۱۳). ریزوسفر و ریشه‌های گیاهان توسط ایجاد زیستگاه‌های خرد مناسب برای میکروارگانیسم‌های خاک موجب تحریک فعالیت آنزیمی می‌شوند (۲).

تاکنون تلاش‌های محدودی برای مطالعه‌ی ارتباط فرآیندهای ریزوسفر با فرآیندهای خاک یا حتی شناسایی اهمیت مکانی فرآیندهای ریزوسفر گیاهان از گونه‌های مختلف انجام شده است (۲۱). گونه‌های درختی با توجه به مورفولوژی و فیزیولوژی ریشه و نیازمندی‌های مواد مغذی فضای ریزوسفری متفاوتی دارند (۳۷). هدف این پژوهش بررسی اوره‌آز موجود در محیط ریزوسفر در حالت کشت خالص و آمیخته و نیز در گرادیان‌های افقی و عمودی (ژرفای گوناگون خاک و فواصل مختلف از یقه نهال) دو گونه نهال بومی جنگلی شامل بلندمازو (*Quercus castaneifoli*) و پلت (*Acer velutinum*) با استفاده از یک نوع ریزوترون نوین است.

مواد و روش‌ها

خاک و لاشبرگ مورد استفاده در این پژوهش از پارسل یک جنگل شصت کلاته گرگان جمع‌آوری شد. خاک دارای بافت لومی شامل ۳۹ درصد شن، ۳۶ درصد سیلت و ۲۵ درصد رس بود. خاک پیش از کشت نهال‌ها یکنواخت شد و دانه‌های درشت و ریشه‌ها با الک نمودن 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 یک‌ساله‌ی دو گونه بلندمازو و پلت ریشه لخت از نهالستان قرق در زمستان ۱۳۹۳ گزینش شدند و هنگام گزینش اصل همانندی رعایت گردید. در آغاز آزمایش نهال‌های بلندمازو و پلت به ترتیب دارای قطر یقه $12/0 \pm 0/3$ میلی‌متر و $10/4 \pm 0/1$ میلی‌متر (میانگین ± 1 اشتباه معیار) و میانگین ارتفاعی $55/2 \pm 0/8$ سانتی‌متر و $32/1 \pm 0/3$ سانتی‌متر (میانگین ± 1 اشتباه معیار) بودند. نهال‌ها در دی‌ماه ۱۳۹۳ در ریزوترون کشت شدند.

ریزوترون‌های نوین مورد استفاده 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 (۷، ۱۲). همه صفحات ریزوترون شفاف و از جنس پلی کربنات بود. امکان نمونه‌برداری خاک در هر زمان به کمک صفحه جابجاشونده پشتی ریزوترون فراهم گردید. پایه ریزوترون امکان قرارگیری آن در زاویه دلخواه 30° – 45°

برای رشد ریشه‌ها به روی صفحه‌ی عقب ریزوترون را میسر می‌ساخت. ۱۲ عدد درگاه دستیابی رستری (Raster Access Port-RAP) برای گرفتن تراوش‌های ریشه تعبیه شد. این درگاه‌ها در ژرفا و فواصل 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 ژرفای پایین‌تر (۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر) از خاک معدنی و در دو ژرفای بالاتر (۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر) از ترکیب خاک و لاشبرگ (۴٪ وزنی) پر شدند. در این تحقیق دو گونه‌ی 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 تحقیق ریزوترون‌ها در حد رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. نمونه‌گیری از محل پشت درگاه‌ها در تابستان ۱۳۹۴ انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله به یخ‌زن در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز با استفاده از روش کاندلر (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد و بر حسب میکروگرم نیتروژن آزاد شده در گرم خاک خشک در ساعت (به‌طور خلاصه میکروگرم نیتروژن) بیان گردید (۱۹). در روش کاندلر از هر نمونه سه زیر تکرار اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان فعالیت آنزیمی هر نمونه در نظر گرفته شد. 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 موردبررسی 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 و میزان رطوبت خاک استفاده شد و مقایسه‌ی 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 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 آنالیز واریانس نشان داد فعالیت آنزیم اوره‌آز بین گونه‌های مختلف در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). بیشترین تراوش اوره‌آز مربوط تیمارهای بلندمازو و آمیخته و کمترین تراوش مربوط به تیمار کنترل بود. فعالیت

آنزیم اوره‌آز در تیمارهای تحقیق به ترتیب برای بلندمازو، پلت و آمیخته به میزان ۲/۳، ۱/۴، ۲/۲ برابر بیشتر از تیمار کنترل بود.

جدول ۱- اثر ترکیب گونه بر میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزاد شده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت)

Table 1- Effect of species composition on Urease activity ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$)

تیمار بلندمازو	تیمار پلت	تیمار آمیخته	تیمار کنترل	درجه آزادی	سطح معناداری
Oak treatment	Maple treatment	Mixed treatment	Control treatment	df	sig
42.78 ^a	26.20 ^{ab}	41.70 ^a	18.71 ^b	3	0.013
44.00 ^a	41.37 ^a	41.71 ^a	44.20 ^a	3	0.382

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ردیف می باشد.

Different letters showed significant difference in each row ($p < 0.05$).

همبستگی معنی داری بین درصد رطوبت خاک و میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز مشاهده نشد (ضریب پیرسون ۰/۰۸۴- و سطح معنی داری ۰/۵۴۵). میزان تراوش اوره‌آز در تیمار کنترل در ژرفای گوناگون نمونه برداری از الگوی خاصی پیروی نکرد. تغییرات تراوش اوره‌آز در ژرفای گوناگون خاک ریزوترون تنها در تیمار آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در تمامی تیمارهای تحقیق بیشترین میزان تراوش اوره‌آز مربوط به ژرفای ۷۵ سانتی متری و کمترین آن مربوط به ژرفای اول و دوم نمونه برداری بود. میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز در میانگین ژرفای سوم و چهارم به ترتیب برای تیمارهای بلندمازو، پلت، آمیخته و کنترل به میزان ۱/۵۷، ۰/۳۷، ۳، ۱/۱۳ برابر بیشتر از میانگین ژرفای اول و دوم نمونه برداری بود. مقایسه فعالیت اوره‌آز با کنترل تنها در ژرفای ۷۵ سانتی متر در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار است.

جدول ۲- اثر ژرفای نمونه برداری بر فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزاد شده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت) (اثر

حضور ریشه همراه با سایر عوامل اولیه موجود در محیط ریزوسفر)

Table 2- Effect of sampling depth on Urease activity ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$) (effect of root with other primary factors on rhizosphere)

ژرفای خاک	تیمار بلندمازو	تیمار پلت	تیمار آمیخته*	تیمار کنترل*
Soil depth	Oak treatment	Maple treatment	Mixed treatment*	Control treatment*
۱۵ سانتی متر	32.29 ^a	19.61 ^a	24.89 ^a	10.28 [*]
15cm				
۳۰ سانتی متر	31.97 ^a	11.91 ^a	16.33 [*]	22.56
30cm				
۵۰ سانتی متر	45.54 ^a	33.71 ^a	63.70 ^a	21.87
50cm				
۷۵ سانتی متر	55.40 ^{a**}	52.39 ^{a**}	60.03 ^{a**}	15.57
75cm**				
سطح معناداری	0.604	0.115	0.008	0.682
sig				

* به دلیل عدم وجود تکرار کافی در نمونه برداری امکان مقایسه میانگین وجود نداشت.

** مقایسه فعالیت اوره آز با مقدار متناظر کنترل در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار است.

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می باشد.

* 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 showed significant difference in each column ($p < 0.05$).

تأثیر حضور نهال در محیط ریزوسفر با حذف سایر عوامل به تنهایی بر تغییرات تراوش اوره آز در ژرفای گوناگون خاک در جدول ۳ نمایش داده شده است. این تغییرات در تیمار پلت و آمیخته در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار بود. به طور قابل توجهی در ژرفای ۷۵ سانتی متری میزان تراوش اوره آز نسبت به سایر ژرفاها بیشتر بود. میزان تراوش اوره آز تحت تأثیر حضور نهال به طور میانگین در ژرفای ۵۰ و ۷۵ سانتی متری نسبت به ژرفای ۱۵ و ۳۰ سانتی متری به ترتیب در تیمارهای بلندمازو، پلت و آمیخته به میزان ۲/۰، ۳۶/۹، ۱۰/۳ برابر بیشتر بود. مقایسه کارایی اوره آز با مقدار متناظر کنترل تنها در ژرفای ۷۵ سانتی متری در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار بود.

جدول ۳- اثر ژرفای نمونه برداری بر کارایی آنزیم اوره آز (میکروگرم نیتروژن آزاد شده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت) (تنها اثر

حضور نهال (ریشه) در محیط ریزوسفر با حذف سایر عوامل موثر)

Table 3- Effect of sampling depth on Urease efficiency ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$) (only effect of seedlings (root) without other primary factors on rhizosphere)

تیمار آمیخته*	تیمار پلت	تیمار بلندمازو	ژرفای خاک
Mixed treatment*	Maple treatment	Oak treatment	Soil depth
14.61 ^b	9.33 ^a	22.01 ^a	۱۵ سانتی متر 15cm
-6.23*	-10.65 ^c	9.41 ^a	۳۰ سانتی متر 30cm
41.82 ^a	11.84 ^b	23.67 ^a	۵۰ سانتی متر 50cm
44.46 ^a	36.82 ^a	39.83 ^a	۷۵ سانتی متر** 75cm**
0.040	0.002	0.425	سطح معناداری sig

* به دلیل عدم وجود تکرار کافی در نمونه برداری امکان مقایسه میانگین وجود نداشت.

** مقایسه کارایی اوره آز با مقدار متناظر کنترل در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار است.

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می باشد.

* Because of the lack of sufficient repetition, mean comparison wasn't possible.

** Comparison of urease efficiency with corresponding amount of control was significant ($p < 0.05$).

Different letters showed significant difference in each column ($p < 0.05$).

میزان فعالیت آنزیم اوره آز در فواصل مختلف از یقه‌ی نهال در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نبود

(جدول ۴). لیکن بیشترین میزان فعالیت اوره آز در تیمارهای بلندمازو و آمیخته در فاصله ۲۰ سانتی متری یعنی در بین دو اصله

نهال بود. در مورد تیمار پلت وضعیت متفاوت بود و بیشترین میزان فعالیت اوره آز در مجاورت یقه نهال مشاهده شد. همانند

تغییرات مکانی مرتبط با ژرفای خاک، تغییرات مکانی مرتبط با فاصله از نهال در تیمار کنترل نیز از الگوی خاصی پیروی نکرد.

جدول ۴- اثر فاصله از یقه نهال بر فعالیت آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزاد شده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت)

Table 4- Effect of distance of collar seedlings on urease activity ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$)

فاصله از یقه نهال	تیمار بلندمازو	تیمار پلت	تیمار آمیخته	تیمار کنترل*
Distance from collar seedlings	Oak treatment	Maple treatment	Mixed treatment	Control treatment*
صفر سانتی متر (بلوط)	33.77 ^a	30.97 ^a	29.33 ^a	31.26*
0cm (oak)				
۲۰ سانتی متر	64.50 ^a	22.46 ^a	53.77 ^a	19.42
20cm				
صفر سانتی متر (افرا)	44.30 ^a	27.55 ^a	37.11 ^a	15.78
0cm(maple)				
سطح معناداری	0.364	0.908	0.084	0.502
sig				

* به دلیل عدم وجود تکرار کافی در نمونه برداری امکان مقایسه میانگین وجود نداشت.

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می باشد.

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

* Because of the lack of sufficient repetition, mean comparison wasn't possible.

Different letters showed significant difference in each column ($p<0.05$).

Comparison of urease activity with corresponding amount of control wasn't significant ($p<0.05$).

میزان کارایی اوره‌آز در فواصل مختلف از یقه نهال تحت تأثیر حضور نهال در محیط ریزوسفر آن بدون دخالت سایر

عوامل تنها در تیمار بلندمازو در سطح احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی دار بود (جدول ۵). در بین تیمارها بیشترین میزان

کارایی اوره‌آز مختص به تیمار آمیخته در فاصله ۲۰ سانتی متری از یقه نهال بود.

جدول ۵- اثر فاصله از یقه نهال بر کارایی آنزیم اوره‌آز (میکروگرم نیتروژن آزاد شده در هر گرم وزن خاک خشک در ساعت)

Table 4- Effect of distance of collar seedlings on urease efficiency ($\mu\text{gNg}^{-1}\text{h}^{-1}$)

فاصله از یقه نهال	تیمار بلندمازو	تیمار پلت	تیمار آمیخته
Distance from collar seedlings	Oak treatment	Maple treatment	Mixed treatment
صفر سانتی متر (بلوط)	2.51 ^b	-0.29 ^a	-1.93 ^a
0cm (oak)			
۲۰ سانتی متر	45.08 ^a	3.04 ^a	34.35 ^a
20cm			
صفر سانتی متر (افرا)	28.52 ^a	11.77 ^a	21.33 ^a
0cm(maple)			
سطح معناداری	0.046	0.554	0.090
sig			

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد در ستون می باشد.

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

Different letters showed 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 ژرفای پایین‌تر از تراکم بالاتری برخوردار بود.



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

Fig 1- Showing of root systems in rhizotrons of mixed, maple and oak treatments (from right to left)

بحث

نتایج مطالعه نشان داد که میزان تراوش اوره‌آز به‌طور اساسی تحت تأثیر حضور پوشش گیاهی و ترکیب‌های متفاوت گونه‌ای است. در کلیه بخش‌های خاک ریزوترون کنترل (به استثنای یک مورد) میزان تراوش اوره‌آز کمتر از ریزوترون‌های کشت شده بود که اهمیت حضور پوشش گیاهی و ریشه‌دوانی در خاک را نشان می‌دهد. حضور پوشش گیاهی به دلیل ایجاد منطقه ریزوسفر باعث افزایش فعالیت آنزیمی در خاک نسبت به حجم خاک فاقد ریشه خواهد شد که میزان این افزایش از یک گونه به گونه‌ی دیگر و یا حتی از یک ژنوتیپ به ژنوتیپ دیگر متفاوت است (۱۳). ثابت شده که فعالیت آنزیمی (شامل بتاگلوکوزیداز، فنول اکسیداز، اینورتاز، سلولاز، اسیدفسفاتاز، اوره‌آز) در خاک دارای پوشش گیاهی در مقایسه با خاک فاقد پوشش گیاهی افزایش می‌یابد (۴۱). فعالیت آنزیمی خاک یک شاخص بیوشیمیایی حساس از کیفیت خاک است زیرا مرتبط با تجزیه ماده آلی خاک می‌باشد (۲۶)؛ بنابراین می‌توان گفت احیای پوشش گیاهی و کشت نهال می‌تواند در ارتقای کیفیت خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

مواد مغذی خاک بین ترکیب‌های مختلف درختی (خالص و آمیخته) متفاوت است و فعالیت آنزیمی (از جمله فعالیت اوره‌آز، فسفاتاز قلیایی، پلی فنول اکسیداز) نیز بین ترکیب‌های مختلف درختی متفاوت است به‌نحوی که در خاک جنگل آمیخته بیشتر از سایر خاک‌های جنگلی است (۳۸) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همچنین ثابت شده نوع آمیختگی بر

میزان فعالیت آنزیمی تأثیر دارد به نحوی که ترکیب آمیختگی (درصد استقرار هر گونه) باعث تغییر در فعالیت آنزیمی می شود (۳۸).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در تیمار آمیخته در دو ژرفای پایین تر که فاقد لاشبرگ بود میزان فعالیت آنزیمی بالاتر است. در برخی پژوهش ها فعالیت آنزیمی اوره آاز از افق O به افق B کاهش یافته است (۴۱) و همچنین با افزایش ژرفای خاک از افق سطحی ۰-۱۵ سانتی متری به افق ۱۵-۳۰ سانتی متری فعالیت اوره آاز کاهش یافته است (۳۰). پوشش گیاهی از طریق اثر بر میکروارگانیسم های خاک بر نرخ معدنی شدن ماده آلی در خاک جنگل اثر دارد (۲۳) و معمولاً با افزایش مقدار ماده آلی خاک تراوش آنزیم اوره آاز افزایش می یابد. از سوی دیگر ثابت شده که تأثیر تراوش های ریشه ای در محیط ریزوسفر بر فعالیت آنزیمی بیشتر از اثر لاشبرگ به عنوان یک سوبسترا برای فعالیت آنزیمی است (۴۱). همانطور که در شکل یک نشان داده شده است زی توده و پراکنش ریشه های موین در ژرفای ریزوترون بیشتر از افق های سطحی است بنابراین افزایش تراوش آنزیم اوره آاز با افزایش ژرفا، مرتبط با تراوش های ریشه ای است. از طرفی حضور نیتروژن زیادی می تواند مانع فعالیت آنزیم اوره آاز شود لذا گیاهان تثبیت کننده نیتروژن باعث کاهش میزان فعالیت اوره آاز می شوند (۲۵). با توجه به دارا بودن نیتروژن قابل توجه لاشبرگ پلت (۱۵) تراوش کمتر آنزیم اوره آاز در دو ژرفای حاوی لاشبرگ در این مطالعه می تواند به دلیل حضور نیتروژن بیشتر موجود در لاشبرگ الحاقی باشد. برونل و همکاران (۲۰۱۷) نیز با مطالعه دو نوع توده آمیخته جنگلی *Pinus halepensis* با *Quercus ile* و *Pinus sylvestris* با *Quesrcus pubescens* پی بردند در توده شامل *Q.ilex* در لایه فرش جنگلی (Forest floor) با میزان نیتروژن بیشتر، میزان فعالیت اوره آاز این توده کمتر است (۵). همچنین در توده شامل *Q. pubescens* که میزان آمونیوم در افق A بیشتر بود میزان فعالیت اوره آاز کمتری مشاهده شد. ایشان بیان نمودند میزان فعالیت اوره آاز در افق A در هر دو توده کمتر از لایه فرش جنگلی است. دلیل دیگر افزایش فعالیت اوره آاز را افزایش فعالیت میکروارگانیسم های خاک به تبع حضور بیشتر لاشریزه، ریشه و رسوب های ریزوسفری بیان نمودند. قابل ذکر است پیچیدگی های رابطه نیتروژن قابل دسترس و فعالیت آنزیمی اوره آاز زیاد است، چنانکه در برخی موارد الحاق نیتروژن باعث افزایش فعالیت اوره آاز در خاک و لاشبرگ شده است (۲۸). همچنین زئویانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز همبستگی مثبت و ضعیفی را بین میزان نیتروژن خاک و فعالیت اوره آاز نشان دادند (۴۰). با این حال دیک و همکاران (۸) نشان دادند با الحاق کود نیتروژن به صورت ترکیبات آمونیوم میزان فعالیت اوره آاز کاهش می یابد و بیان نمودند که افزایش محصول نهایی یک آنزیم موجب کاهش فعالیت آن خواهد شد. انوواشو و همکاران (۱۰) نیز بین میزان نیتروژن کل و فعالیت اوره آاز خاک

همبستگی منفی مشاهده نمودند. نتایج فوق نشان دهنده عدم قطعیت در توزیع مکانی تراوش اوره‌آز است. در تحقیقات 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 بایست موارد و متغیرهای بیشتری مورد پژوهش قرار گیرد.

رن و همکاران (۲۰۱۶) دلیل کاهش فعالیت آنزیمی اوره‌آز با افزایش ژرفا را به دلیل کاهش مواد مغذی به ویژه لاشبرگ و ریشه بیان نمودند (۲۷). زئویانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز دلیل کاهش فعالیت‌های آنزیمی با افزایش ژرفا را به دلیل کاهش ریشه‌های موئین بیان نمودند زیرا فعال‌ترین بخش تراوش و بقایای سلول‌های حاوی آنزیم است که به خاک وارد می‌شوند (۴۰). جامرو و همکاران (۲۰۱۴) نیز افزایش فعالیت اوره‌آز در لایه‌های سطحی ۰-۱۰ سانتی‌متری را نسبت به لایه‌های عمیق‌تر ۱۰-۲۰ سانتی‌متری به حضور بیشتر ریشه و تراوشات آن نسبت دادند (۱۷). در مطالعه حاضر به دلیل بیشتر بودن تراکم ریشه در ژرفای پایین خاک می‌توان افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز در ژرفای خاک را به افزایش رشد ریشه نسبت داد. بنابر بیشتر تحقیقات انجام گرفته حضور محصول نهایی حاصل از فعالیت یک آنزیم موجب کاهش فعالیت آن آنزیم هدف در خاک خواهد شد (۵۸،۱۰،۲۵). از آنجا که در دو ژرفای بالاتر خاک در تحقیق حاضر در اکثر موارد فعالیت آنزیمی در حضور الحاق لاشبرگ به‌عنوان ماده مغذی (که حاوی نیتروژن زیاد است) برخلاف اکثر نتایج قبل (۵۸،۱۰،۲۵) موجب افزایش فعالیت اوره‌آز نسبت به تیمار کنترل (در عمق ۱۵ سانتی‌متری به میزان $+۶۸/۱۶\%$ ، $+۴۷/۵۸\%$ ، $+۵۸/۷۰\%$ و در عمق ۳۰ سانتی‌متری به میزان $+۲۹/۴۳\%$ ، $-۸۹/۴۲\%$ ، $-۲۷/۶۲\%$ به ترتیب 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 ژرفای پایین‌تر خاک نیز میزان فعالیت آنزیمی نسبت به تیمار کنترل افزایش یافت (در عمق ۵۰ سانتی‌متری به میزان $+۵۱/۹۸\%$ ، $+۳۵/۱۲\%$ ، $+۶۵/۶۷\%$ و در عمق ۷۵ سانتی‌متری به میزان $+۷۱/۹۰\%$ ، $+۷۰/۲۸\%$ ، $+۷۴/۰۶\%$ به ترتیب در تیمارهای بلندمازو، پلت و آمیخته). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اثر حضور ریشه و تراوش‌های آن در افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز بسیار بیشتر از حضور نیتروژن موجود در لاشبرگ الحاقی بوده است.

سیستم ریشه‌دوانی دو گونه مورد تحقیق متفاوت است. سیستم ریشه‌ای بلندمازو عمقی (Taproot system) دارای ریشه‌ی اصلی و مستقیم است حال آنکه پلت دارای سیستم ریشه‌دوانی افشان (Heart root system) با ریشه‌های جانبی و موئین زیاد در قسمت بالایی و پایینی است (۶). بنابراین ریشه‌های جانبی بیشتر و سطح ریشه‌ای وسیع‌تری در گونه پلت نسبت به گونه بلندمازو می‌توان انتظار داشت. منطقه‌ی ریزوسفر شامل بیشترین فعالیت آنزیمی است و با افزایش فاصله از آن این میزان

فعالیت آنزیمی کمتر می‌شود (۱۳). بنابراین باید انتظار فعالیت آنزیمی بیشتری برای گونه پلت داشت در حالی که 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 به دلیل 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 سه کلون صنوبر زمانی که بالاترین میزان زی‌توده‌ی ریشه حین رشد مشاهده گردید، فعالیت اوره‌آز به بالاترین میزان خود رسید (۲۱) بر این اساس فعالیت بیشتر اوره‌آز در تیمار آمیخته و در اعماق پایین‌تر خاک را می‌توان به توسعه‌ی بیشتر سیستم ریشه‌ای نسبت داد. تراکم ریشه‌های موئین در سطح خاک موجب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های آنزیمی از جمله اوره‌آز خواهد شد (۲۴). ریزوسفر گونه‌های درختی موجب افزایش فعالیت اوره‌آز شده و شرایطی ایجاد می‌کند که موجب تسریع افزایش معدنی‌سازی نیتروژن آلی خواهد شد (۹).

فعالیت اوره‌آز در خاک ریزوسفر تقریباً دو برابر حجم خاک فاقد ریشه بود. نتایج ونگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد فعالیت اوره‌آز در خاک ریزوسفر بیشتر از حجم خاک فاقد ریشه است (۳۹). از آنجا که فعالیت و زی‌توده میکروبی در خاک ریزوسفر بسیار بالاتر از حجم خاک فاقد ریشه است (۱۱)؛ این افزایش زیاد در زی‌توده میکروبی به دلیل حضور تراوش‌های ریشه به عنوان یک منبع مغذی و سوبسترا برای فعالیت میکروبی است (۳) زیرا گیاهان در حدود یک سوم تولید فتوسنتزی خود را به شکل ته‌نشست‌ها و تراوش‌های ریزوسفری درون خاک رها می‌سازند (۲۰) و میکروب‌های ریزوسفری از کربن مورد نیاز خود را از تراوش‌های ریشه دریافت می‌کنند (۳۶)، که در نهایت منجر به افزایش فعالیت آنزیمی در فضای ریزوسفر خواهد شد. دینش و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که فرآیندهای ریشه و ریزوسفر موجب افزایش قابلیت دسترسی مواد مغذی در خاک خواهد شد که موجب ایجاد میکروزیستگاه‌های مطلوب و افزایش فعالیت میکروبی و فعالیت اوره‌آز می‌شود (۹). نتایج این مطالعه نشان داد اثر ریزوسفر به تنهایی صرف‌نظر از سایر متغیرهای تأثیرگذار در دو ژرفای پایین بیشتر است. در کل فعالیت آنزیمی خاک در حجم خاک فاقد ریشه کمتر از خاک ریزوسفر است که حاصل فعالیت میکروبی القا شده توسط تراوش‌های ریشه یا به دلیل رهاسازی آنزیم‌ها از ریشه‌هاست (۱). در نهایت می‌توان بیان نمود علت اصلی افزایش فعالیت و کارایی اوره‌آز در دو ژرفای پایین‌تر خاک به دلیل تراکم بیشتر ریشه‌های موئین حضور سطح بیشتر سیستم ریشه‌ای است و تأثیر حضور ریشه بسیار بیشتر از الحاق لاشبرگ به عنوان سوبستراست.

مقادیر بیشتر محتوی آب خاک باعث افزایش بیشتر فعالیت اوره‌آز خاک می‌شود (۳۱). گرچه برخی تحقیقات نیز نشان داده که همیشه میزان فعالیت اوره‌آز با قابلیت دسترسی آب همبستگی ندارد (۱۸،۳۲). نتایج این تحقیق هیچ همبستگی معنی‌داری را بین رطوبت خاک و میزان فعالیت اوره‌آز نشان نداد که دلیل آن نگهداری ریزوترون‌ها در رطوبت ظرفیت زراعی طی مدت تحقیق است.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که برهم کنش 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 به دلیل توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای و تقسیم آشیان اکولوژیک خاک توانایی تراوش‌های ریزوسفری افزایش خواهد یافت که می‌تواند به دلیل افزایش تراوش اوره‌آز از ریشه و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در فضای ریزوسفر به دلیل افزایش سایر تراوش‌ها و رسوب‌های ریزوسفری است. 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. Badalucco, L., and Kuikman, P.J. 2001. Mineralization and immobilization in the rhizosphere. In: Pinton, R., Varanini, Z., Nannipieri, P. (Eds.), The rhizosphere. Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Marcel Dekker, New York, Pp: 159-196.
2. Balota, E.L., Machineski, O., Truber, P.V., and Auler, P.A.M. 2011. Effect of tillage systems and permanent groundcover intercropped with orange trees on soil enzyme activities. Brazilian Archives of Biology and Technology. 54: 221-228.
3. 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.
4. 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.
5. Brunel, C., Gros, R., Ziarelli, F., and Da Silva, A.M.F. (In press) 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. xxx :1-10.
6. Busgen, M., Munch, E., and Thomsom, T. 1929. The structure and life of forest trees. Chapman and Hall, London.
7. 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 (*Fagussylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) differentially affect soil microorganisms and carbon dynamics. Soil Biology and Biochemistry. 6: 123-32.
8. 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.

9. 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.
10. Enowashu, E., Poll, C., Lamersdorf, N., and Kandeler, E. 2009. Microbial biomass and enzyme activities under reduced nitrogen deposition in aspruce forest soil. *Applied Soil Ecology*. 43: 11–21.
11. 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.
12. Fender, A.C. 2012. The rhizosphere effects of *fagussylvatica* l. and *fraxinus excelsior* l. saplings on greenhouse gas fluxes between soil and atmosphere. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Georg- August- University Göttingen. 1-185.
13. Gianfreda, L. 2015. Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15 (2): 283-306.
14. 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.
15. 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 Journal of Forest and Poplar Research*. 20(4): 645-655. In Persian.
16. Helmisaari, H.S., Derome, J., Nöjdand, P., 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.
17. 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.
18. Jones, D.L., Hodge, A., and Kuzyakov, Y. 2004. Tansley review: plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*. 163, 459–480.
19. 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.
20. Kuzyakov, Y., Raskatov, A., and Kaupenjohann, M. 2003. Turnover and distribution of root exudates of *Zea mays*. *Plant Soil*. 254, 317-327.
21. 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.
22. Magalhães, 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.
23. Malý, S., Fiala, P., Reininger D., and Obdržálková, 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.

24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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
28. 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.
29. Salazar, S., Sánchez, L.E., Alvarez, J., Valverde, A., Galindo, P., Igual, J.M., Peix, A., and Santa-Regina, I. 2011. Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. *Ecological Engineering*. 37: 1123–1131.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison. Pp: 775–834.
34. Trasar-Cepeda, C., Leiro, M.C., and Gil-Sotres, F. 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.
35. Turner, S., Schippers, A., Meyer-Stüve, S., Guggenberger, G., Gentsch, N., Dohrmann, R., Condon, L.M., Eger, A., Almond, P.C., Peltzer, D.A., Richardson, 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.
36. Van Hees, P.A.W., Jones, D.L., Finlay, R., Godbold, D.L., and Lundström, 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.
37. 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. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*. 164: 35–41.
38. 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.

39. 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.

40. 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.

41. 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.

42. Zantua, M., and Bremner, J.M. 1977. Stability of urease in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 9: 135–140.

Effect of Root Interaction of Chestnut-leaved Oak and Persian Maple in Pure and Mixed planting on spatial Variability of Urease Enzymes Exudation

Abstract

Background and objective: Root interaction is the most important factor that influence on enzymes exudations of plant roots in rhizosphere, that depending on composition, species type and soil depth have different spatial distribution. Nowadays restricted researches had been done about relation of rhizosphere processes with soil rhizosphere or even identity of space importance of rhizosphere processes in different species. Tree species regarding to root morphology and physiology as well as nutrients needs have different rhizosphere. The aim of this research is to assay spatial variability of urease enzymes exudation on rhizosphere of Chestnut-leaved Oak and Persian Maple in pure and mixed planting.

Material and methods: To get the research goal, 18 modern rhizotrons were made and applied. 12 Raster-Access-Ports placed in each rhizotron to get root exudates. These ports were in distinct depths and distances for calculating special variability of root enzymes exudations. Related to space of ports of rhizotrons, two lower depths (50 and 75 cm) were full with soil and two upper depths with soil and litter (4% of weight). One years 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 sampling was done 6 months after planting in different soil depth of rhizotrons and urease activity was determined by Kandeler method. Enzyme efficiency was calculated by subscripted enzyme activity in each place from corresponding amount of control (without root) and don't show catalytic efficiency.

Results: The results showed that urease exudation contents were significantly differences in planting composition ($p < 0.05$) while the most amount of enzyme exudation revealed in the pure Oak and mixed planting and the lowest was in control. Spatial variability of urease activity only showed significant difference on mixed planting treatment ($p < 0.05$). However spatial variability of enzyme efficiency was significant on pure maple and mixed planting treatments ($p < 0.05$). Urease exudation wasn't significant in different distances from collar seedlings with exception urease efficiency in pure oak planting treatment ($p < 0.05$).

Conclusion: Results suggested planting seedlings and species composition have greater impact on urease exudation than soil depth during research periode. Compare the results with other studies have uncertainty revealed in spatial variability of urease exudations in rhizosphere perhaps was related to rooting system. Each species has its own rhizosphere zones based on their rooting structure and in any kind of species composition competition will be different because the rooting structure.

Key words: urease, rhizosphere, rhizotron, maple, oak.

