نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷،ص.۷۲۲-۷۰۹

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct.2018, p. 709-722

تاثیر بیوچار و کمپوست ضایعات هرس و تلقیح میکروبی بر فراهمی فسفر

میرحسن رسولی صدقیانی*- رقیه واحدی[۲]- محسن برین[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۶

چکیده

فسفر از عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاه می‌باشد که کمبود آن یکی از مشکلات خاک‌های آهکی است. به منظور بررسی تاثیر بیوچار و کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور و تلقیح میکروبی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز و فراهمی فسفر در ریزوسفر گندم، آزمایشی بصورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در رایزوباکس اجرا گردید. فاکتورها شامل ماده آلی (بیوچار، کمپوست ضایعات هرس و شاهد بدون ماده آلی)، تلقیح میکروبی (قارچ میکوریزای آربوسکولار (AMF) و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) بود. نتایج نشان داد که کاربرد همزمان کمپوست و تلقیح میکروبی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت ACP، ALP و فسفر قابل جذب در خاک نسبت به تیمار بدون ماده آلی شد، بطوریکه بیشترین افزایش فعالیت ALP و مقدار فسفر قابل جذب مربوط به تیمار مشترک PGPR وکمپوست بود. همچنین در تیمارکمپوست، فعالیت ACP و ALP در خاک ریزوسفری به ترتیب ۱/۳۹ و ۱/۳۳برابر خاک غیرریزوسفری بود. با این وجود مقدار فسفر قابل جذب در خاک غیرریزوسفری تیمار کمپوست ۲۱/۱۹ درصد بیشتر از خاک ریزوسفری بود. بیشترین غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی بترتیب در تیمارهای کمپوست تلقیح شده با میکوریزا و بیوچار تلقیح شده با میکوریزا مشاهده شد. همچنین، غلظت فسفر اندام هوایی در تیمار مشترک بیوچار و AMF ۱/۳۱ برابر غلظت فسفر در تیمار بیوچار و تلقیح PGPR بود. بطورکلی استفاده از ماده آلی و تلقیح میکروبی تأثیر قابل توجهی در فراهمی فسفر و بهبود رشد گیاه دارد.

واژه‌های کلیدی: ریزوسفر، فراهمی فسفر، مواد آلی، میکروارگانیسم

مقدمه

سالانه میلیون‌ها تن ضایعات هرس درختان در سطح کشور تولید می‌شود که می‌تواند در تامین ماده آلی سهیم باشد. استان آذربایجان غربی بیشترین باغات سیب و انگور را در کشور به خود اختصاص داده است. همچنین لزوم هرس سالیانه این باغات بیش از هزاران تن ضایعات لیگنو سلولزی تولید می‌کند. بنابراین یکی از راه‌های صحیح و عملی برای بهبود ماده آلی خاک، مدیریت استفاده از ضایعات هرس درختان میوه است که متاسفانه قسمت اعظم آن سوزانده و یا در جایی رها گردیده و از اینرو آلودگی محیط زیست را سبب می‌شود (۶). ماده آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک می‌باشد. ماده آلی نه تنها منبع بزرگی از عنصرهای غذایی است بلکه با تشدید فعالیت زیستی در خاک، به چرخش بهتر مواد غذایی کمک می‌کند (۵۴). خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، به علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، حاوی مادهٔ آلی کمی است. این خاک‌ها اغلب آهکی می‌باشند و در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیهٔ عناصر غذایی به ویژه فسفر روبه‌رو هستند. ضایعات هرس درختان با تبدیل شدن به بیوچار[۴] و کمپوست، با جایگزینی یا فراهم کردن عناصر غذایی در خاک، علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نقش مهمی نیز در پویایی و زندگی میکروارگانیسم‌های خاک و ایجاد نوعی تعادل دینامیکی در بین اجزای زنده و غیر زنده خاک ایفا می‌کنند (۱۰). بیوچار ماده جامد غنی از کربن تولید شده توسط گرماکافت[۵] توده‌های زیستی با مقدار کمی اکسیژن یا بدون اکسیژن می‌باشد (۲۸). مقادیر نسبی و ویژگی بیوچار توسط شرایط گرما کافت مانند دما، مدت زمان، فشار و نوع ماده‌ی اولیه کنترل می‌شود (۴۶).تجزیه تدریجی مواد آلی (بیوچار و کمپوست) سبب افزایش راندمان عناصر غذایی و ماندگار شدن اثر این ترکیبات تا چندین سال بر عملکرد گیاهان و خصوصیات خاک می‌گردد (۱۸). همچنین کمپوست سازی به عنوان مؤثرترین روش

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v32i4.67298

4-Biochar
5-Pyrolysis

برای کنترل و مدیریت بقایای مواد آلی گزارش شده است (۴۱). کمپوست یک فرآورده حاصل از انجام فرآیندهای شیمیایی در ضایعات آلی است و حاوی عناصر سودمند بسیاری بوده که به تدریج و پیوسته در خاک آزاد و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (۸). همچنین پژوهشگران آنزیم‌های خاک را به عنوان شاخص‌های قابل استفاده برای حاصلخیزی و کیفیت خاک پیشنهاد کرده‌اند (۴۷). در این میان، فسفاتازها گروه وسیعی از آنزیم‌ها می‌باشند که از بین آن‌ها فسفاتاز اسیدی و قلیایی به علت اهمیتی که در معدنی شدن فسفر آلی خاک و تغذیه گیاهان دارند بیش از سایر گروه‌های فسفاتاز مورد توجه قرار گرفته‌اند. فسفاتازها در چرخه بیوژئوشیمی فسفر نقش مهمی ایفا می‌کنند. فسفاتاز آنزیمی است که از طریق هیدرولیز کردن منواسترهای اسید فسفریک و تبدیل آن‌ها به یون فسفات و مولکولی با یک گروه هیدروکسیل آزاد، گروه فسفات را از پیش ماده خود جدا می‌سازد و فسفات آزاد شده در خاک می‌تواند توسط گیاهان یا میکروارگانیسم‌ها جذب شود (۴۱). اینکه بیوچار قادر به تحریک و افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی در خاک است نیز امری محتمل است (۱۴). از سویی، مارینا‌ری و همکاران (۳۰) گزارش کردند که در پایان فرآیند تولید کمپوست، این فرآورده‌هاحاوی جمعیت زیادی از میکروارگانیسم‌ها هستند و بنابراین با مصرف کمپوست، علاوه بر افزایش مواد آلی و عناصر غذایی در خاک، موجودات زنده نیز وارد خاک می‌شوند. همچنین، مواد ساده و قابل دسترسی که کودهای آلی در اختیار قرار می‌دهند، باعث تحریک و افزایش فعالیت‌های میکروبی همچون فعالیت آنزیمی در خاک می‌گردد. اگرچه ریشه‌های گیاه در تولید فسفاتازها نقش دارند اما فسفاتازهای میکروبی (قارچ‌ها و باکتری‌ها) درهیدرولیز ترکیبات آلی خاک مؤثرتر هستند (۵۱). ترشح آنزیم فسفاتاز توسط قارچ‌های میکوریزای آربسکولار [1](AMF) و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه [2](PGPR) گزارش شده است (۳۴).

اجزای ماده آلی اضافه شده به خاک با فسفر برای مکان‌های جذب رقابت می‌کند. در نتیجه فراهمی فسفر در خاک را افزایش می‌دهد. همچنین، برهمکنش‌هایی بین اکسیدهای آهن و آلومینیوم با مواد آلی مشاهده شده که بر کریستالی شدن این اکسیدها اثر بازدارندگی داشته و در نهایت موجب افزایش جذب فسفر می‌شود (۲۰). با این‌حال، گزارش‌های متناقضی پیرامون زیست فراهمی فسفر توسط بیوچار وجود دارد. لهمان و همکاران (۲۶) افزایش زیست فراهمی فسفر در خاک اصلاح شده با بیوچار را گزارش کردند.در حالی که با توجه به حضور غلظت‌های بالایی از اکسیدهای عناصر قلیایی (Ca^{2+} و Mg^{2+}) و غلظت کم Al^{+3} محلول در خاک (۴۸)، با افزودن بیوچار به خاک قلیایی جذب فسفر افزایش یافته وفراهمی فسفر کاهش می‌یابد (۱۲). البته بیوچار حاوی مقادیر زیادی فسفر می‌باشد، بنابراین ممکن است بطور مستقیم با آزاد سازی فسفر منجر به افزایش فراهمی آن به‌ویژه برای کوتاه مدت گردد (۹). جذب مولکول‌های آلی (فنولوئیک اسیدها، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و یاکربوهیدرات‌ها) برروی سطح بیوچار می‌تواند توانایی آن‌ها را برای کلات با Al^{3+}، Fe^{3+} وCa^{+2} در خاک کاهش دهد (۵۵). آتکینسون و همکاران (۲) مشاهده کردند که بیوچار فراهمی فسفر خاک و جذب فسفر توسط گیاهان را بطور غیر مستقیم با تغییر محیط میکروارگانیسم‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهد. یکی از راهکارهای دیگر برای افزایش فراهمی فسفر استفاده از پتانسیل میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات [3] می‌باشد. قارچ‌های AM از طریق مکانیسم‌های مختلفی حلالیت عناصر موجود در خاک به ویژه عناصر کم تحرک همانند فسفر را که در حالت عادی برای گیاه کمتر قابل جذب می‌باشند، افزایش داده و با گسترده کردن شبکه هیف‌های خود در خاک، سطح و سرعت جذب ریشه گیاه را افزایش می‌دهند (۳۱). همچنین باکتری‌های PGPR از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند تولید متابولیت‌های موثر در رشد گیاه همانند هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکنین، جیبرلین)،تثبیت نیتروژن در ریزوسفر، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول و کم محلول عناصر غذایی همانند فسفر و افزایش فراهمی آن‌ها از طریق تولید اسیدهای آلی و معدنی، تولید فسفاتازها، تولید سیدروفور و تنظیم تولید اتیلن در ریشه‌ها رشد گیاه را افزایش می‌دهند (۴۴). لیانگ و همکاران (۲۷) مشاهده کردند که قرار دادن ماده آلی در اطراف ریزوسفر یا خارج از ریزوسفر تاثیر قابل توجهی در فعالیت میکروبی در ریزوسفر و توده‌ی خاک در پی داشته است. در ریزوسفر تغییراتی مانند اسیدی شدن و افزایش مقدار ماده‌ی آلی در هر دو فاز جامد و محلول خاک، منجربه تغییر در فعالیت میکروبی می‌شود که باعث ایجاد تفاوت بین خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری می‌گردد. ویژگی‌های شیمیایی خاک بر رشد ریشه برای جذب عناصر غذایی بسیار تاثیر گذار می‌باشد. اما شرایط ریزوسفر و دامنه تغییراتی که توسط آن ایجاد می‌شود، تعیین کننده‌ی میزان جذب عناصر غذایی به وسیله ریشه می‌باشد. به طور کلی، ریشه گیاه با جذب یا آزاد سازی عنصر غذایی از محیط احاطه کننده ریشه منجر به تخلیه و یا تجمع و در نتیجه ایجاد تغییر در غلظت عناصری همانند فسفر در اطراف خود می‌شود. محدود کردن ریشه جهت بررسی تغییرات بیولوژیکی و شیمیایی و اینکه این خصوصیات در چه دامنه‌ای از ریزوسفر گسترش یافته‌اند از چالش‌هایی هستند که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. رایزوباکس [4] از جمله سیستم‌هایی است که برای مطالعه تغییرات ریزوسفر مورد استفاده قرار

1 - Arbuscular mycorrhizal fungi
2- Plant growth promoting rhizobacteria
3- Phosphate Solubilizing Microorganisms
4- Rhizobox

می‌گیرد. رایزوباکس با محدود کردن ریشه‌ها در حجم معینی از خاک، منجر به افزایش تراکم ریشه شده و نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری را آسان می‌سازد. تاکنون درک کاملی از اثر متقابل میان ریشه گیاه، بیوچار، کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور و تلقیح میکروبی و تاثیر آنها بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی به دلیل وجود روابط پیچیده بینابن ترکیبات در ریزوسفر گندم حاصل نشده است. همچنین پژوهش‌های کمی در این ارتباط در رایزوباکس انجام گرفته و با توجه به اینکه گندم یکی از محصولات مهم و استراتژیک کشور محسوب می‌شود. لذا هدف از این تحقیق، مطالعه تاثیر بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان سیب و انگور و تلقیح میکروبی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز و فراهمی فسفر در ریزوسفر گندم در شرایط رایزوباکس بود.

مواد و روش‌ها

-انتخاب نمونه خاک و آماده سازی بستر کشت

برای انجام این مطالعه، یک نمونه خاک با بافت سبک و مقدار فسفر قابل دسترس پایین از شهرستان سلماس واقع در استان آذربایجان غربی تهیه شد. نمونه خاک بعد از هوا خشک کردن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس در دستگاه اتوکلاو و با دمای ۱۲۱درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت دو ساعت استریل شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷)، pH و EC درعصاره‌های صاف شده سوسپانسیون ۱ به ۵ خاک به آب با استفاده از pH متر و EC متر، ماده آلی به روش والکی وبلاک (۳۷)، کربنات کلسیم معادلبه روش تیتراسیون با سود (۵۲)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۵) و پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (۷) اندازه‌گیری شدند. همچنین، فسفرقابل جذب به روش اولسن و با استفاده از محلولبی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (pH=۸/۵) استخراج و به روش رنگ سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۳۵ و ۳۹) (جدول ۱).

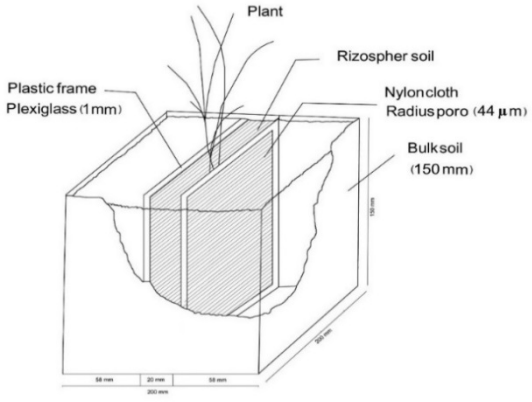
-تهیه بیوچار و کمپوست از ضایعات هرس درختان سیب و انگور

ضایعات هرس درختان سیب و انگور از باغات شهرستان ارومیهدر استان آذربایجان غربی جمع‌آوری گردیدند. ضایعات هرس به قطعات ۲۰میلی‌متری خرد و درآون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده ابتدا به راکتور (استوانه فلزی به قطر۷ و ارتفاع ۳۱ سانتی‌متر) و سپس به کوره الکتریکی برای تولید بیوچار منتقل گردیدند. تولید بیوچار در دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد انجام گردید. همچنین کمپوست آماده ضایعات هرس درختان سیب و انگور از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه گردید. در نهایت بیوچار تولید شده و کمپوست ضایعات هرس آسیاب و از الک ۰/۵ میلیمتری عبور داده شد. pH و EC بیوچار در عصاره صاف شده سوسپانسیون ۱ به ۱۰ بیوچار به آب (۱)، فسفرکل بیوچار به روش هضم با اسید (۴۳)، نیتروژن وکربن بیوچار نیز به روش سوزاندن خشک با دستگاه ESC 4010 CHNSO Analyzer (۴۳) اندازه‌گیری گردید. Ph و EC کمپوست در عصاره صاف شده سوسپانسیون ۱ به ۵ کمپوست به آب، نیتروژن کل کمپوست به روش کجلدال (۱۳)، فسفر کمپوست بعد از هضم خشک به روش آمونیم وانادات (۱۳) وکربن آن به روش والکی وبلاک (۳۷) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

-آزمون گلخانه‌ای و آنالیز گیاه و خاک

این آزمایش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل ماده آلی (بیوچار ضایعات هرس درختان سیب و انگور، کمپوست ضایعات هرس درختان سیب و انگور و شاهد بدون ماده آلی)، تلقیح میکروبی (قارچ AM، باکتری‌های PGPR) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) بودند که در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه اجرا گردید. به منظورکشت گیاه از رایزوباکس استفاده شد. باکس‌های ریزوسفری در ابعاد۲۰×۱۵×۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض و ارتفاع) استفاده شد (شکل ۱). فضای هر باکس با استفاده از صفحات مشبک نایلونی ۳۲۵ مش به دو قسمت: ۱) ناحیه ریزوسفری به ضخامت دو سانتیمتر، ۲) ناحیه غیرریزوسفری به ضخامت ۵/۸ سانتیمتر (این ناحیه در طرف دیگر ناحیه ریزوسفری نیز با همان ضخامت تکرار شد) تقسیم شد. برای انجام آزمایش گلخانه‌ای، بیوچار و کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور هرکدام برحسب ۱/۵ درصد کربن آلی خالص به خاک (هر باکس شامل ۵/۸ کیلوگرمخاک، ۴۱/۱۹ گرم کمپوست در هر کیلوگرم خاک و ۲۲/۲۱ گرم بیوچار در هر کیلوگرم خاک) اضافه و مخلوط شدند و سپس به باکس‌ها منتقل گردیدند. در تیمارهای شاهد بدون ماده آلی نیز خاک استریل حاوی تلقیح میکروبی استفاده گردید. همچنین مقدار ۸۰ میلی‌گرم فسفر از منبع خاک فسفات به عنوان منابع نامحلول فسفر در هر کیلوگرم خاک استفاده شد.برای تلقیح میکروبی از سویه‌های میکروبی شامل سودوموناس‌های فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P. aeruginosa*، *P. fluorescens* و *P. putida*) و قارچ میکوریزا گونه گلوموس (*G. fasciculatum*) استفاده گردید. برای کشت گیاه، بذرهای گندم (*Triticum aestivum L.*) رقم پیشتاز پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم به تعداد شش بذر در قسمت ریزوسفری رایزوباکس‌ها کشت گردیدند. پس از جوانه زدن بذرها، چهار گیاه (گیاهان سالم‌تر و قوی‌تر) نگه-

داشته شدند. در طول دوره کشت از آب مقطر به منظور آبیاری و جهت تامین مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی عاری از فسفر استفاده گردید. درپایان، پس از ۶۵ روز رایزوباکس‌ها باز شدند. از هر رایزوباکس دو نمونه خاک، یکی از بخش ریزوسفر و دیگری از بخش غیرریزوسفری برداشت شد. بخش هوایی و ریشه گیاه پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. سپس، فسفر ریشه و اندام هوایی به روش هضم خشک عصاره‌گیری و از طریق رنگ آمیزی با روش آمونیم وانادات و آنتیمونی تارتارات (۱۳) تعیین شد. آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی نیز به روش طباطبایی و برمنر (۴۹) در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری تعیین گردیدند. همچنین، فسفرقابل جذب به روش اولسن استخراج و به روش رنگ سنجی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری اندازه‌گیری شد (۳۵ و ۳۹).تجزیه و تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم افزار MSTATC و رسم نمودارها با نرم افزار Execl انجام گردید.



شکل۱- شماتیکی از سیستم رایزوباکس
Figure 1- Schematic of the rhizobox system

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای و بیوچار و کمپوست ضایعات هرس به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. خاک مورد استفاده دارای بافت شنی لومی (رس۴/۱۶، سیلت ۱۰و شن ۸۵/۸۴ درصد) بوده که دارای فسفر قابل دسترس پایین (۷/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ، کربن آلی کم (۰/۲۵ درصد)، ۱۴/۲۵درصد کربنات کلسیم معادل ، غیر شور و با pH خنثی تا قلیایی ضعیف بود. تجزیه بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات سیب و انگور نشان داد که بیوچار ضایعات هرس درختان دارای pH حدود خنثی (۷/۲۹)، هدایت الکتریکی بسیار پایین (۰/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر)، مقدار کربن آلی ۶۷/۵۴ درصد و مقدار فسفرکل ۲۷۴۸/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. کمپوست ضایعات هرس نیز دارای pH خنثی تا قلیایی ضعیف (۷/۰۵)، هدایت الکتریکی بالا (۱۷/۸۷ دسی‌زیمنس بر متر) وکربن آلی بالا (۳۰/۰۲ درصد) بود. از مهم‌ترین مشخصه‌های کمپوست مصرفی فسفر قابل جذب بالا (۷/۵۴ درصد) بود.

-فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی ماده آلی و خاک بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی ($p<۰/۰۰۱$) و نیز اثر اصلی تلقیح میکروبی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ($p<۰/۰۰۱$) معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل (ماده آلی× تلقیح میکروبی و ماده آلی × خاک) نیز بر میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی ($p<۰/۰۵$ و $p<۰/۰۰۱$) و قلیایی ($p<۰/۰۰۱$) معنی‌دار بود. در ارتباط با میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ($p<۰/۰۰۱$) نتایج نشانگر معنی‌دار بودن اثر متقابل تلقیح میکروبی و خاک بر مقدار این شاخص بود.

جدول ۱- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه
Table 1- Results of some physical and chemical properties of the studied soil

K	P	N	$CaCO_3$	O.C	EC	pH	بافت خاک soil texture
mg kg^{-1}			%		ds m^{-1}		
98	7.64	0.08	14.25	0.25	0.47	7.53	Lomy Sand

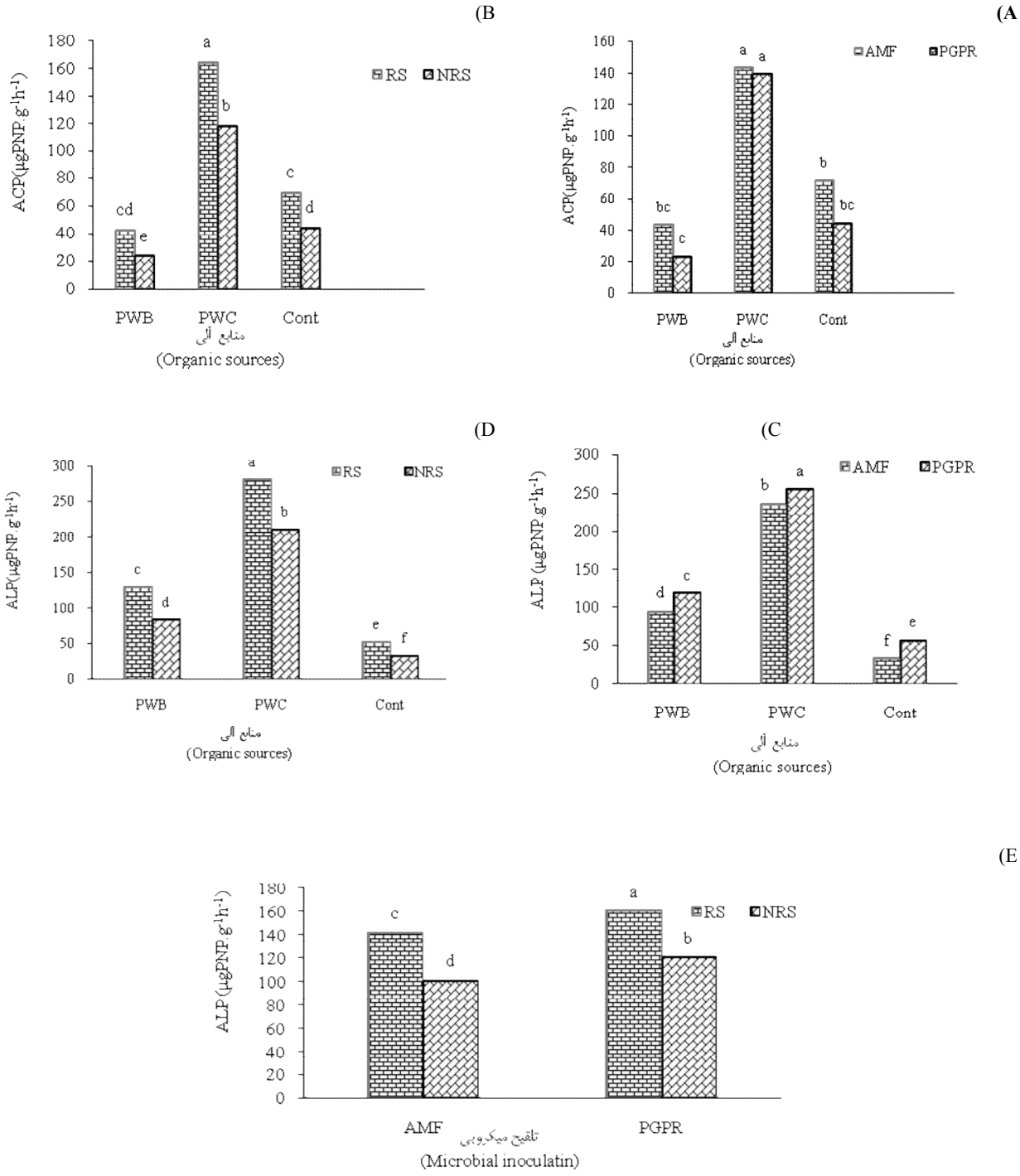
جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بیوچار و کمپوست حاصل از ضایعات هرس درختان سیب و انگور
Table 2- Some characteristics of trees pruning waste compost and biochar of apple and grape

ویژگی‌ها Characteristics	واحد Unit	بیوچار ضایعات هرس Pruning waste biochar	کمپوست ضایعات هرس سیب و انگور Pruning waste compost (apple and grape)
		سیب و انگور Apple and grape	
pH		7.29	7.05
EC	dS m^{-1}	0.08	17.87
N	%	0.54	3.72
C	%	67.53	30.02
P (Total)	mg kg^{-1}	2748.07	–
P (avaliable)	%	-	7.54

بطور کلی تلقیح میکوریزا در همه تیمارها نسبت به تلقیح باکتریایی تاثیر بیشتری بر میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی داشت هرچند که این تفاوت معنی‌دار نبود. تیمار مشترک کمپوست و تلقیح میکروبی بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی را به خود اختصاص داد بطوریکه تلقیح میکوریزایی این تیمار منجر به افزایش ۲ برابری در مقایسه با تیمار تلفیقی شاهد و تلقیح میکوریزایی شد. کمترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی مربوط به تیمار مشترک بیوچار و تلقیح میکوریزا بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار بیوچار و تلقیح باکتریایی و نیز شاهد و تلقیح میکوریزا نداشت (شکل ۲-A). اثر خاک ریزوسفری بر میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در مقایسه با خاک غیرریزوسفری معنی‌دار بود (شکل ۲-B). کاربرد کمپوست ضایعات هرس منجربه افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری شد به نحوی که فعالیت این آنزیم در خاک ریزوسفر ۱/۳۹ برابر بیشتر از خاک غیرریزوسفری بود. اما بیوچار ضایعات هرس سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد (شکل ۲-B). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تیمارهای آلی در هر دو نوع تلقیح میکروبی نسبت به تیمار شاهد دارای میانگین بالاتری بود. بالاترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تیمار مشترک کمپوست و تلقیح باکتریایی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تلقیح میکوریزایی داشت و افزایش ۴/۴۸ برابری را نسبت به تیمار تلفیقی شاهد و تلقیح باکتریایی نشان داد (شکل۲-C). تیمارهای آلی به‌طور معنی‌داری میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را در هر دو خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۲-D). بر اساس نتایج، در شرایط استفاده از کمپوست ضایعات هرس، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در ریزوسفر ۱/۳۳ برابر خاک غیرریزوسفر بود و هر دو خاک در شرایط استفاده از کمپوست ضایعات هرس تفاوت معنی‌داری را با تیمارهای بیوچار و شاهد در هر دو خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری نشان دادند (شکل ۲-D). همچنین، تلقیح باکتریایی نسبت به تلقیح میکوریزایی در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی کاراتر بود و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در شرایط تلقیح باکتریایی، در خاک ریزوسفری ۱/۳۳ برابر بیشتر از فعالیت این آنزیم در خاک غیرریزوسفری بود (شکل ۲-E).

افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی خاک در تیمارهای کمپوست و بیوچار ضایعات هرس افزوده شده نسبت به شاهد را احتمالا می‌توان به افزایش زیست‌توده میکروبی در پاسخ به ماده آلی افزوده شده، عناصر غذایی خاک و بهبود خصوصیات خاک (فیزیکی، شیمایی و بیولوژیکی) نظیر ظرفیت نگهداشت مواد غذایی و آب نسبت داد. همچنین عملکرد بهتر کمپوست در افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در مقایسه با بیوچار احتمالا نشان‌دهنده تجزیه بالای کمپوست ضایعات هرس و نیتروژن کافی در ترکیب آن و در نتیجه تحریک بیشتر فعالیت میکروبی بود. حضور مواد غذایی که به راحتی قابل تجزیه هستند و نیتروژن که به راحتی در ترکیب پسماند قابل جذب می‌باشد، موجب افزایش فعالیت این آنزیم می‌گردد (۲۴).رنللا و همکاران (۴۵) با افزودن پسماند گیاه چاودار به ۳ نوع خاک اسیدی، خنثی و قلیایی مشاهده کردندکه فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک قلیایی تیمارشده با پسماند گیاهی تا ۱۵ برابر افزایش یافت.

جین و همکاران (۲۱) گزارش کردند که فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی پس از افزودن بیوچار کود دامی کاهش یافت در حالی که فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی افزایش نشان داد. کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی با افزودن بیوچار به خاک دور از انتظار نبود چرا که خاک مورد مطالعه با pH قلیایی و شرایط آهکی و بیوچار ضایعات هرس با pH قلیایی برای فعالیت این آنزیم مناسب نبود.



شکل۲- مقایسه میانگین منابع آلی و تلقیح میکروبی، منابع آلی و خاک بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی

Figure 2- Mean comparison of the organic sources and microbial inoculation and, the organic sources and soil on the activity of acid and alkaline phosphatase enzymes

ACP، ALP، Cont، PWB، PWC، AMF، PGPR، RS و NRS به‌ترتیب آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، شاهد بدون ماده آلی، بیوچار ضایعات هرس،کمپوست ضایعات هرس، قارچ میکوریزا آربوسکولار، باکتری‌های محرک رشد، خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری هستند.

ACP, ALP, Cont, PWB , PWC, AMF , PGPR, RS and NRS are acid and alkaline phosphatase enzymes, control (without organic matter), pruning waste biochar, pruning waste compost, arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth promoting rhizobacteria, rhizosphere soil and non-rhizosphere soil, respectively.

بر اساس مطالعات انجام شده خاکستر بیوچار حاوی کاتیون‌های بازی بوده و منجر به افزایش pH خاک می‌شود (۵۶). افزایشpH خاک بدلیل افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک می‌شود (۱۱).افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی درخاک ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفری را می توان ناشی از فعالیت میکروبی و ریشه‌ای گیاه دانست (۵۱). در این راستا، ماکوی و همکاران (۲۹) فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی در ریزوسفر بیشتر از غیرریزوسفرگزارش کردند. بالا بودن فعالیت فسفاتاز قلیایی در تیمار تلقیح PGPR نسبت به قارچ AMF ممکن است بدلیل شرایط محیط رشد باشد به‌عنوان مثال فسفاتاز اسیدی بیشتر توسط قارچ‌ها ترشح شده و pH مطلوب برای این آنزیم شرایط اسیدی تا خنثی بوده و فسفاتاز قلیایی بیشتر توسط باکتری‌ها ترشح شده و در ۷ <pH فعالیت بالاتری دارد. سرعت میکروارگانیسم‌ها در سنتز و آزادسازی فسفاتازها به pH خاک مرتبط است (۵۰). بررسی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مقدار کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی درخاک ریزوسفری تیمار بیوچار کمتر از خاک غیرریزوسفری است. بنابراین محیط ریزوسفر اثر اصلاح کننده بر اثر منفی بیوچار بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی داشته است.بالیک و همکاران (۳) با مطالعه تاثیر کود آلی بر فعالیت‌های آنزیم‌های فسفاتاز در ریزوسفر گیاهان با استفاده از رایزوباکس گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی بطور معنی‌داری نسبت به توده خاک افزایش یافت.

-فراهمی فسفر در خاک و تاثیر آن بر غلظت فسفر در گیاه

فراهمی فسفر در خاک بطور معنی داری تحت تاثیر منابع آلی (p<۰/۰۰۱)، تلقیح میکروبی (p<۰/۰۱) و خاک (p<۰/۰۰۱) قرار گرفت. همچنین اثرات متقابل این فاکتورها نیز بر مقدار فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار (p<۰/۰۰۱) بود. بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل منابع آلی و تلقیح میکروبی بر مقدار فسفر قابل استفاده خاک، اثر تیمارهای منابع آلی در هر دو سطح تلقیح میکروبی بر مقدار فسفر قابل جذب، نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود. نتایج نشان دادند که تیمارهای مشترک کمپوست و تلقیح با باکتری‌های PGPR و نیز بیوچار و تلقیح میکوریزایی در افزایش زیست فراهمی فسفر خاک موثر بودند (جدول ۳). مقدار فسفر در تلقیح باکتریایی تیمار کمپوست نسبت به تیمار تلفیقی شاهد و تلقیح باکتریایی ۱۰/۷۳ برابر افزایش نشان داد (جدول ۳). در تیمار بیوچار نیز افزایش مقدار فسفر با تلقیح میکروبی وجود داشت که در تلقیح میکوریزایی بیشتر از تلقیح باکتریایی بود. بطور کلی مقدار فسفر در خاک غیرریزوسفری تمامی تیمارها در مقایسه با خاک ریزوسفری بالاتر بود (جدول ۴ و ۵). حضور ماده آلی بالاخص کمپوست در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری منجر به افزایش معنی‌دار مقدار فسفر نسبت به تیمار شاهد در هر دو سطح خاک شد. کمپوست ضایعات هرس مقدار فسفر را در خاک غیر ریزوسفری نسبت به خاک ریزوسفر ۲۱/۱۹ درصد افزایش داد (جدول ۴). تیمارهای میکروبی در هر دو سطح تلقیح باکتریایی و میکوریزایی مقدار فسفر خاک را در خاک غیر ریزوسفری نسبت به خاک ریزوسفری بطور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۵). بیشترین مقدار فسفر در خاک غیرریزوسفری تیمار باکتریایی اندازه‌گیری شد (۵۴/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با خاک غیرریزوسفری تیمار تلقیح میکوریزایی نداشت و کمترین مقدار فسفر نیز در خاک ریزوسفری تیمار میکوریزایی (۳۸/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را با خاک ریزوسفری تیمار باکتریایی نشان داد (جدول ۵).

نتایج نشان دادند که غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی تحت تاثیر تلقیح میکروبی به همراه مواد آلی قرار گرفت (p<۰/۰۰۱). تلقیح میکروبی غلظت فسفر ریشه را در تمامی تیمارهای آلی نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری افزایش داد. البته قارچ‌های میکوریزا در افزایش غلظت فسفر در ریشه فعال‌تر عمل کردند (شکل۳- A). بیشترین غلظت فسفر در ریشه مربوط به تیمار تلفیقی کمپوست و تلقیح میکوریزا بود که این مقدار ۱/۸۳ برابر تیمار شاهد و تلقیح میکوریزا بود و اختلاف آماری معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که همانند ریشه، تلقیح میکروبی غلظت فسفر بخش هوایی را هم در تیمارهای آلی نسبت به تیمار شاهد افزایش داد و تلقیح میکوریزا در افزایش غلظت فسفر در بخش هوایی فعال‌تر بود (شکل ۳-B). بیشترین غلظت فسفر در بخش هوایی گیاه در تیمار بیوچار تلقیح میکوریزی بود که ۱/۳۱ برابر بیشتر از تلقیح باکتریایی بود و به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با این تیمار و نیز با تیمارهای کمپوست و شاهد در هر دو نوع تلقیح داشت.

در این راستا، خلیل و همکاران (۲۲) گزارش کردند که افزودن کمپوست با باکتری‌های PGPR به خاک منجر به افزایش فسفرقابل استفاده در خاک مورد مطالعه آن‌ها گردید. افزودن مواد کمپوست شده منجر به تحریک باکتری‌های مسئول معدنی کردن فسفر آلی و باکتری‌های حل کننده فسفر معدنی و افزودن بیوچار سبب تحریک قارچ‌های میکوریزایی می‌شود که برای چرخه عناصر غذایی به ویژه فسفر بسیار مهم هستند (۲۵). افزایش بیشتر مقدار فسفر قابل استفاده در خاک غیرریزوسفری در تیمار کمپوست نسبت به سایر تیمارها احتمالا به علت بالا بودن فسفر کمپوست مصرفی بود. فتحی گرد لیدانی و همکاران (۱۵) با بررسی تاثیر کمپوست قارچ مصرفی و بیوچار باگاس نیشکر بر قابلیت استفاده وجزء بندی فسفر در خاک آهکی مشاهده کردند که مقدار فسفر قابل استفاده درکمپوست قارچ مصرفی بیشتر از بیوچار بود.

مابلا و وارمن (۳۳) گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری در یک مزرعه سیب زمینی منجر به افزایش معنی‌دار فسفر کل خاک گردید. همچنین آن‌هابیان کردند که کاربرد کمپوست می‌تواند به اندازه کودهای شیمیایی در افزایش فسفر قابل جذب خاک موثر باشد. آن‌ها دلیل احتمالی این امر را افزایش فعالیت میکروبی پس از کاربرد کمپوست و در نتیجه آزاد سازی فسفر در طول معدنی شدن مواد آلی ذکر کردند. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات با استقرار در منطقه ریزوسفر ازترشحات ریشه استفاده نموده و با تغییر pH یا ترشح آنزیم‌ها، شرایط را برای تبدیل فسفر نامحلول به شکل قابل استفاده فراهم می‌سازند. از طرفی، قارچ میکوریزای آربوسکولار در حالی‌که به درون پوست ریشه گیاه نفوذ می‌کند از گیاه میزبان خود کربن دریافت می‌کند و در مقابل فسفر و سایر عناصر معدنی را به وسیله هیف‌های گسترده خود در خاک جذب و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (۲۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش منابع آلی و تلقیح میکروبی بر میزان فسفر خاک

Table 3- Mean comparisons of the organic sources and microbial inoculation interaction on soil phosphorus content

مقدار فسفر قابل استفاده خاک Content of available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)			
PWC	PWB	Cont	تلقیح میکروبی (Microbial inoculation)
87.53 [b]	38.80 [c]	12.25 [e]	AMF
108.72 [a]	29.77 [d]	10.13 [e]	PGPR
	4.90		$LSD_{0.05}$

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمالی ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

Cont، PWB، PWC، AMF و PGPR به‌ترتیب شاهد بدون ماده آلی، بیوچار ضایعات هرس،کمپوست ضایعات هرس، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد هستند.

Cont, PWB, PWC, AMF, PGPR are control (without organic matter), pruning waste biochar, pruning waste compost, arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth, promoting rhizobacteria, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش منابع آلی و خاک بر میزان فسفر خاک

Table 4- Mean comparisons of the organic sources and soil interaction on soil phosphorus content

مقدار فسفر قابل استفاده خاک Content of available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)			
PWC	PWB	Cont	خاک (Soil)
88.70 [b]	26.04 [d]	9.80 [e]	RS
107.50 [a]	42.53 [c]	12.58 [e]	NRS
	4.90		$LSD_{0.05}$

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمالی ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

Cont، PWB، PWC، AMF، PGPR، RS و NRS به‌ترتیب شاهد بدون ماده آلی، بیوچار،کمپوست ضایعات هرس، خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری هستند.

Cont, PWB, PWC, RS, NRS are control (without organic matter), pruning waste biochar, pruning waste compost, rhizospher soil and non-rhizospher soil, respectively.

جدول۵- مقایسه میانگین برهمکنش تلقیح میکروبی و خاک بر میزان فسفر خاک

Table 5- Mean comparisons of the microbial inoculation and soil interaction on phosphorus soil content

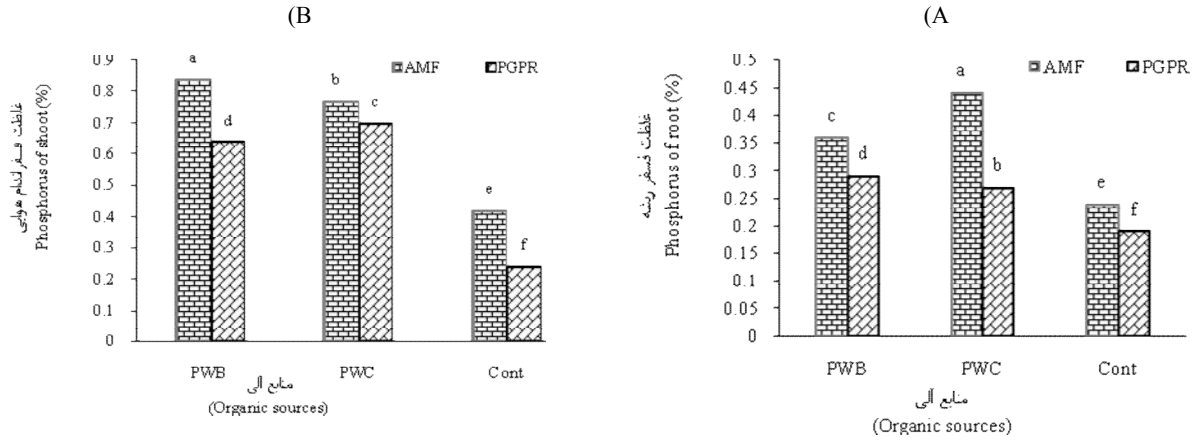
مقدار فسفر قابل استفاده خاک Content of available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)		
PGPR	AMF	خاک (Soil)
44.09 [b]	38.94 [c]	RS
54.99 [a]	53.45 [a]	NRS
4.90		$LSD_{0.05}$

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمالی ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

به‌ترتیب قارچ میکوریزا آربوسکولار، باکتری‌های محرک رشد، خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری هستند.NRS و RS، PGPR، AMF

AMF, PGPR, RS and NRS are arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth promoting rhizobacteria, rhizospher soil and non-rhizospher soil, respectively.



شکل۳- اثر متقابل منابع آلی و تلقیح میکروبی بر غلظت فسفر ریشه (A) و اندام هوایی (B)

Figure 3- The interaction of organic sources and microbial inoculation on root phosphorus (A) and shoot phosphorus (B) concentrations

Cont، PWB، PWC، AMF، PGPR به‌ترتیب شاهد بدون ماده آلی، بیوچار،کمپوست ضایعات هرس، قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد هستند.

Cont, PWB, PWC, AMF, PGPR are control (without organic matter), pruning waste biochar, pruning waste compost, arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteri, respectively.

هیف‌های قارچ‌های میکوریزا با ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز موجب انحلال فسفر خاک می‌گردند (۴) و با توسعه منطقه تخلیه فسفر در اطراف ریشه گیاه و افزایش سرعت جذب فسفر، مقدار فسفر جذب شده در واحد طول ریشه و در واحد زمانرا افزایش می‌دهند. رئیسی وحسین‌پور (۴۲) نیز در بررسی اثرات ریزوسفری گندم بر قابلیت استفاده فسفر در روش رایزوباکس مشاهده کردند که مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن در خاک غیرریزوسفری بطور معنی‌داری بیشتر از خاک ریزوسفری بود. به نظر می‌رسد جذب فسفر توسط ریشه گیاه و میکروارگانیسم‌ها منجر به تخلیه مخازن فسفر قابل دسترس در خاک‌های ریزوسفری شده و در نتیجه مقدار فسفر استخراج شده به روش اولسن سرعت آزادسازی فسفر در خاک‌های ریزوسفر پایین‌تر از خاک‌های غیرریزوسفری است. در مورد رابطه بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی با فسفر قابل استفاده خاک اختلاف وجود دارد. برخی محققین، رابطه مستقیم بین مقدار فسفر قابل استفاده خاک و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی را گزارش کردند (۱۶). شواهدی هم مبنی بر وجود رابطه منفی بین فعالیت آنزیم فسفاتاز و فسفر قابل استفاده خاک وجود دارد (۵۷). در تحقیق حاضر با افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز، فسفر قابل استفاده نیز افزایش یافت که بیانگر ارتباط مستقیم بین مقدار فسفر قابل استفاده و فعالیت آنزیم‌ها بود. از طرفی، افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در خاک ریزوسفری ممکن است به علت افزایش فسفر قابل دسترس خاک توسط کمپوست باشد چرا که بستر کشت مورد مطالعه (خاک)، دارای فسفر قابل دسترس کمتر از حد بحرانی بود. نانتی پیری و همکاران (۳۶) بیان داشتند که فسفر معدنی، فعالیت فسفاتازها را در خاک متوقف می‌کند. با توجه به سطح پایین‌تر فسفر قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک غیرریزوسفری در تحقیق حاضر، دلیل دیگر افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در خاک ریزوسفری احتمالا پایین بودن سطح فسفر قابل استفاده در این نوع خاک بود که بیانگر نظریه دوم و رابطه منفی بین آنزیم فسفاتاز و فسفر قابل استفاده می‌باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که غلظت فسفر بخش هوایی بیشتر از غلظت فسفر در ریشه بود چرا که ریشه به خوبی توانسته بود فسفر قابل استفاده گیاه را از منطقه ریزوسفر جذب کرده و به بخش هوایی گیاه منتقل کند و منجر به کاهش فسفر قابل استفاده در منطقه ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفری شود. چنان که مشاهده شد، بیشترین میزان فسفر قابل استفاده خاک در تیمار تلفیقی کمپوست و تلقیح باکتریایی نسبت به تلقیح میکوریزایی بود. تیمار بیوچار نیز در تلقیح میکوریزایی باعث افزایش مقدار فسفر قابل استفاده خاک شده بود که کمتر از تیمار کمپوست بود. کمتر بودن مقدار فسفر خاک در تیمار بیوچار نسبت به تیمار کمپوست، با توجه به مقادیر نسبتا مشابه غلظت فسفر در گیاه در استفاده از هر دو ماده آلی، می‌تواند ناشی از محتوای فسفر قابل استفاده بالاتر کمپوست مصرفی نسبت به بیوچار باشد. همچنین فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در تیمار کمپوست بالا بود که تاثیر بسزایی در افزایش غلظت فسفر گیاه دارد. بنابراین احتمالا کمتر بودن مقدار فسفر قابل استفاده در تیمار تلقیح میکوریزا در کمپوست ناشی از جذب بیشتر گیاه بوده و افزایش

فعالیت‌های بیولوژیکی در این تیمار، باعث افزایش غلظت فسفر در ریشه و در بخش هوایی (کمتر از بیوچار بخش هوایی) شده است.غلظت عناصر در گیاه تحت تأثیر غلظت عناصر درخاک است. انتظار می‌رود که با افزایش غلظت عناصر در خاک، غلظت آن‌ها در گیاه نیز بیشتر شود یا با کاهش غلظت عناصر در خاک جذب بیشتری توسط گیاه انجام گرفته باشد (۳۲). جسکویانی و همکاران (۱۹) گزارش کردند که حضور فسفر زیاد در کمپوست و تشکیل کمپلکس‌های فسفوهومیک سبب کند شدن فرآیند تثبیت فسفر در خاک شده و می‌تواند بخشی از نیاز گیاه به فسفر را تأمین کند. در ارتباط با تیمار بیوچار نیز می‌توان چنین بیان کرد که تلقیح میکوریزا توانسته فعال‌تر از تلقیح باکتریایی عمل کرده و مقدار بیشتری از فسفر قابل استفاده خاک را از طریق ریشه جذب و به بخش هوایی گیاه منتقل کند که منجر به افزایش غلظت فسفر در ریشه و بخش هوایی گردید. ونک و لهمان (۵۳) با مطالعه غلظت فسفر در لوبیا از طریق برهمکنش بین بیوچار و میکوریزا گزارش کردند که کاربرد بیوچار با قارچ‌های AM منجر به افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی نسبت به ریشه شد و غلظت فسفر در بخش هوایی گیاه بطور قابل توجهی بیشتر از تیمار شاهد (خاک) شد. در تغذیه گیاه، فعالیت فسفاتاز اسیدی با سطح کمبود فسفر در ارتباط می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که در بیوچار ضایعات هرس فعالیت این آنزیم در خاک کمتر بود بنابراین افزایش فسفر در گیاه در تیمار بیوچار به نوعی پاسخگوی کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی با افزودن بیوچار به خاک می‌باشد. نوروز زامان و همکاران (۳۸) گزارش کردند که فعالیت فسفاتاز اسیدی در ریزوسفر گیاهان لگوم و گندم تحت شرایط کمبود فسفر هم در غلات و هم در لگوم‌ها بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، استفاده از منابع آلی، خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر را بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر داد و منجر به افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک و در نهایت افزایش فراهمی آن‌ها در گیاه گردید. همچنین استفاده از روش رایزوباکس از تکنیک‌های نوین در ارزیابی خاک ریزوسفریبوده و به همراه تلقیح میکروبی در این شرایط بهتر توانست فرایندهای میکروبی- ریزوسفری مرتبط با فسفر را توجیه نماید. افزودن مواد آلی به خاک همانند کمپوست در تلقیح با میکروارگانیسم‌ها به ویژه باکتری‌های PGPR در محیط ریشه منجر به افزایش فراهمی فسفر در خاک گردید. به دنبال کاربرد مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها به سرعت رشد کرده و افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی همانند افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در ریزوسفر خاک مشاهده شد. در نتیجه، فعالیت فسفاتازها در خاک توسط کاربرد مواد آلی همانند کمپوست و تلقیح میکروبی در افزایش زیست فراهمی فسفر معدنی خاک موثر واقع گردید. برهمکنش مثبت کمپوست و بیوچار با قارچ AM در ریزوسفر سبب شد که ریشه گیاه به آسانی نیاز خود به عناصر غذایی را از این منطقه جذب کند و منجر به افزایش زیست فراهمی فسفر در ریشه و اندام هوایی گیاه گردید. لذا استفاده از مواد آلی اصلاحی به ویژه کمپوست و بیوچار و استفاده از میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر می‌تواند به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی و همچنین کاهنده خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد این کودها و هزینه‌های هنگفت کودهای شیمیایی مطرح باشد.

سپاسگزاری

بخشی از نتایج این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره۸۵۱۲۵/۶۰ با استفاده از اعتبارات "صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور" انجام گردیده که بدینوسیله تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

1- ASTM standard. 2009. Standard test method for chemical analysis of wood charcoal. American Society for Testing and Materials (ASTM) International: Conshohocken, PA.
2- Atkinson C.J., Fitzgerald J.D.,and Hipps N.A .2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil, 337:1–18.
3- Balík J., Pavlíková D., and Vaněk V. 2007. The influence of long-term sewage sludge application on the activity of phosphatases in the rhizosphere of plants. Plant and Soil Environmental, 53:375–381.
4- Bolan N.1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and soil, 34:189–207.
5- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-Total. P. 595-624, In: A.L. Page et. al. (eds). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monograph 9.
6- Cakmak O., Oztur L., Karanlik S., Ozkan H., Kaya Z., and Cakmak I. 2001. Tolerance of 65 Durum wheat genotypes to zinc deficiency in calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 24:1381-1847.
7- Chapman H.D., and Pratt P.F. 1978. Methods of analysis for soils, plants and waters. Division of Agricultural Sciences, University of California, Berkeley, USA, 3043p.

8- Caravaca F., Figueroa D., Alguacil M. M., and Rolan A. 2003. Application of composted urban residue enhanced the performance of afforested shrub species in a degraded semiarid land. Bioresource Technology, 90: 65-70.
9- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie, A., and Joseph S. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Soil Research, 45:629–634.
10- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., and Joseph S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research, 46:437.
11- Chen J., Liu X., Zheng J., Zhang B., Lu H., Chi Z., Pan G., Li L., Zheng J., and Zhang X. 2013. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. Applied Soil Ecology, 71:33–44.
12- Chintala R., Mollinedo J., Schumacher T.E., Malo D.D, and Julson J.L. 2013. Effect of biochars on chemical properties of acidic soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 60:393–404.
13- Emami A. 1997. Plant analysis methods (Volume I). Agricultural research, Soil and Water Research Institute. (in Persian)
14- Emmerling C., Embacher A., and Haubold-Rosar Mand Schröder D. 1996. Initiierung und forderung der mikrobiellen Biomasse und mikrobieller Aktivitäten in jungen Kippsubstraten durch organische Reststoffe. VDLUFA-Schriftenr, 44:579–582.
15- Fathi Gerdelidani A., Mirseyed Hosseini H., and Farahbakhsh M. 2016. Effect of spent mushroom compost (SMC) and sugar cane bagasse biochar on availability and fractions of inorganic phosphorus in a calcareous soil. Journal of Agricultural Engineering, 9 (39):127-144. (In Persian)
16- Garg S., and Bahl G.G. 2008. Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer phosphorus associated with phosphatase activity in soils. Bioresource Technology, 5773–5777.
17- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Physical and Mineralogical Methods. Pp: 383-409. In: Clute A (ed). Methods of Soil Analysis, part 1. ASA and SSSA, Madison Wisconsin.
18- Ginting D., Kessavalou, A., Eghball, B., and Doran, J.W. 2003. Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications. Journal of Environmental Quality, 32: 23–32.
19- Giusquiani P.L., Arucchini C.M., and Businelli M. 1988. Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. Plant and Soil, 109:73-78.
20- Huang P. M. and Violante A. 1986. Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of aluminum. Pages 159–221 in P. M. Huang and M. Schnitzer, eds. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. SSSA, Madison, WI.
21- Jin Y., Liang X., He M., Liu Y., Tian G., and Shi J. 2016. Manure biochar influence upon soil properties, phosphorus distribution and phosphatase activities: a microcosm incubation study. Chemosphere, 142:128–135.
22- Khalil H.M.A., and Hassan R.M. 2015. International Journal of Plant Research, Raising the Productivity and Fiber Quality of Both White and Colored Cotton Using Eco-Friendly Fertilizers and Rice Straw, International Journal of Plant Research, 5(5):122-135.
23- Koide R.T., and Mosse B. 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. Mycorrhiza, 14:145–163.
24- Kourtev P.S., Ehrenfeld J.G., and Häggblom M. 2003. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. Soil Biology and Biochemistry, 35:895-905.
25- Lambers H., Raven J.A., Shaver G.R., and Smith S.E. 2008. Plant nutrient acquisition strategies change with soil age. Trends in Ecology and Evolution, 23:95–103.
26- Lehmann J. D.a., Silva J.P. J.r., Steiner C., Nehls T., Zech W., and Glaser B. 2003.Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil, 249:343–357.
27- Liang Y., Nikolic M., Peng Y., Chen W., and Jiang Y. 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. Soil Biology and Biochemistry, 37:1185–1195.
28- Liu Y., Yang M., Wu Y., Wang H., Chen Y., and Wu W.2011. Reducing CH4 and CO2 emission from waterlogged paddy soil with biochar. Journal of Soils and Sediments, 11:930–939.
29- Makoi J. H. J. R., Bambara S., and Ndakidemi P.A. 2010. Rhizosphere phosphatase enzyme activities and secondary metabolites in plants as affected by the supply of Rhizobium, lime and molybdenum in Phaseolus vulgaris L. Australian Journal of Crop Science, 4:590-597.
30- Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B., and Grego S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology, 72:9-17.
31- Marschner H., and Dell B. 1994; Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, plant and Soil, 159: 89-10.
32- Mengel K., and Kirkby E. 2001. Principles of plant nutrition. 5th Ed., International Potash Institute, Bern, Switzerland.
33- Mkhabela M.S., and Warman P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 106:57–67.

34- Mishra R.R. 2007. Soil microbiology. Translated by: A. Fallah, H. Besharati, & H. Khosravi, Aeeizh publisher, Pp:179.
35- Murphy J., and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphorous in natural waters. Analytica Chemica Acta, 27:31-36.
36- Nannipieri P., Giagnoni L., Renella G., Puglisi E., Ceccanti B., Masciandaro G., Fornasier F., Moscatelli M.C., and Marinari S.2012. Soil enzymology: classical and molecular approaches. Biology and Fertility of Soils, 48:743–762.
37- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, Pp:539–579.
38- Nuruzzaman M., Lambers H., and Bolland M.D.A. 2006. Distribution of carboxylates ad acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. Plant and Soil, 281: 109-120.
39- Olsen S. R., Cole C.V., Watanabe F. S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extracting with sodium bicarbonate. USDA Cric. 939. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
40- Priya k., and Garg V.K. 2004. Diynamics of biological and chemical parameters during vermicomposting of solid textile mill sludge mixed with Cow dung and agricultural residues. Bioresource Technology, Pp:203-209.
41- Quiquampoix H.,and Mousain D. 2005. Enzymatic hydrolysis of organic phosphorus. In: Turner BL, Frossard E, Baldwin DS (eds) Organic phosphorous in the environment. CABI, Wallingford, UK, Pp:89–112.
42- Raiesi T., and Hosseinpur A.R. 2013. The rhizospheric effects of wheat (Triticum aestivum L.) on phosphorus availability and some biological properties in calcareous soils from Shahrekord plain. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3;4 (4):51-65. (In Persian)
43- Rajkovich S., Enders A., Hanley K., Hyland C., Zimmerman A.R., and Lehmann J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 48(3):271-284.
44- Reis V.J., Reis F.B.J., Quesada D.M., de., Oliveira O.C.A., Alves B.J.R., Urquiaga S., and Boddey R.M. 2001. Biological nitrogen fixation associated with tropical pasture grasses. Australian Journal of Plant Physiology, 28:837–844.
45- Renella G., Landi L., Ascher M.T., Ceccherini M.T., Pietramellara G., and Nannipieri P. 2006. Phosphomonoesterase production and persistence and composition of bacterial communities during plant material decomposition in soils in soil with different pH values. Soil Biology and Biochemistry, 38:795–802.
46- Roberts K.G., Gloy B.A., Joseph S., Scott N.R., and Lehmann J.2010. Life cycle assessment of biochar systems: Estimating the energetic, economic, and climate change potential. Environmental Science and Technology, 44:827-833.
47- Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R., and Riffaldi R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. Plant and Soil, 233:251–259.
48- Steiner C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., de Macˆedo J. L. V., Blum W. E. H., and Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal, and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil, 291:275–290.
49- Tabatabai M.A., and Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry, 1:301-307.
50- Tabatabai M.A. 1994. Soil enzymes. In: Weaver RW, Angle JS, Bottomley PS (eds) Methods of soil analysis. Part 2 – Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, US, Pp:775–833.
51- Tarafdar J.C., and Jungk A. 1987. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. Biology and Fertility of Soils, 3:199-204.
52- Tandon H.L.S. 1998. Methods of Analysis of Soils, Plants, Waters and Fertilizers. Fertilizers Development and Consultancy Organization, New Dehli.
53- Vanek S.J., and Lehmann J. 2014. Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar, Plant and Soil, 395:1–19, 105–123.
54- Whalen J.K., Chi C., and Olsen B.M. 2001. Nitrogen and phosphorous mineralization potentials of soil receiving repeated annul cattle manure applications. Journal of Biology and Fertility of Soils, 34:334-341.
55- Xu G., Sun J., Shao H., and Chang S.X. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. Ecological Engineering, 62:54–60.
56- Yuan L., Fang D.H., Wnag Z.H., Shun H., and Huang J.G. 2000. Bio-mobilization of potassium from clay minerals: I. By ectomycorhizas. Pedosphere, 10:339- 346.
57- Yu S., Hea Z.L., Stoffellaa P.J., Calverta D.V., Yanga X.E., Banksa D.J., and Baligar V.C. 2006. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. Soil Biology and Biochemistry, 38:619–628.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct.2018, p. 709-722

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷،ص.۷۲۲-۷۰۹

Effect of Pruning Waste Biochar and Compost and Microbial Inoculation on Phosphorus Availability

M.H. Rasouli-Sadaghiani[1*]- R. Vahedi[2]- M. Barin[3]

Received: 25-09-2017
Accepted: 07-07-2018

Introduction: Millions of tons of trees pruning waste are produced annually in Iran, which can contribute to supplying soil organic matter. Soils in arid and semi-arid regions, due to lack of sufficient vegetation and the return of low amounts of plant residues to the soil, contain little organic matter. These soils are often calcareous, and as a result, many plants in these soils are faced with nutritional problems, especially phosphorus deficiency. Phosphorus, as an essential element for plant growth, combines with soil components and changes into less soluble and insoluble compounds in calcareous soils with low amounts of organic matter. Organic matter and biological amendments can affect the solubility and mobility of nutrients in the rhizosphere and improve their bioavailability by creating different chemical and biological conditions. The pruning waste of trees can be used to produce biochar and compost and consequently improves soil physical and chemical properties and plays an important role in the dynamics and living of soil microorganisms. Biochar is a carbon-rich solid material produced during pyrolysis which is the thermal degradation of biomass under oxygen limited conditions. It has recently received much attention as a soil amendment which can be used to increase nutrient availability, improve the soil microbial diversity and biological activities such as enzyme activity in rhizosphere and sequester carbon in agricultural soils. In addition, compost is a chemical derived product from organic waste and contains many beneficial elements that are gradually released into soil and available to plants. Another approach to improve the bioavailability and mobility of phosphorus in the rhizosphere is the use of potential of phosphate-solubilizing microorganisms including arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Limiting the roots to examine the biological and chemical changes and the extent to which these properties have expanded in the rhizosphere are challenges that have been less addressed Rhizobox is one of the systems used to study rhizosphere changes. The aim of this study was to investigate the effect of biochar and compost prepared from pruning waste of apples and grapes trees as well as microbial inoculation on phosphatase activity and phosphorus availability at wheat rhizosphere under rhizobox condition.

Materials and Methods: This study was carried out on a completely randomized design with a factorial arrangement in three replications, under greenhouse condition in rhizobox. The factors were organic matter (pruning waste biochar (PWB), pruning waste compost (PWC) and control (without organic matter)), microbial inoculation (AMF and PGPR) and soil type (rhizosphere and non-rhizosphere soil). For this purpose, a soil sample with light texture and low available phosphorus content was prepared. PWB used in the experiment was produced from mix pruning waste of apple and grape at the final temperature of approximately 350°C for 3 hours. Moreover, pruning waste compost of apple and grape trees was prepared from Department of Soil Science, Urmia University. The biochar and compost were ground and screened through a 0.5 mm sieve for the greenhouse experiment. The seeds of wheat were planted in 20 × 15 × 20 cm rhizobox (length, width and height). At greenhouse experiment, the biochar and compost were added to the boxes in terms of 1.5% pure organic carbon before planting (each box contained 5.8 kg of soil). In control treatments (without organic matter), sterile soil was used with microbial inoculation. Microbial strains used for inoculation included *Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens and Pseudomonas putida*) and mycorrhizal fungus (*Glomus fasciculatum*). Wheat seeds (*Triticum aestivum L.* cv. Pishtaz) were grown in rhizobox. At the end of the vegetative growth period, acid phosphatase (ACP) and alkaline phosphatase (ALP) enzymes activities were assayed by spectrophotometry method. Soil available P was extracted with 0.5 M $NaHCO_3$ (Olsen-P) in the rhizosphere and non-rhizosphere soils and phosphorus concentrations in the root and shoot were determined by the standard method.

Results and Discussion: The results showed that the application of PWC and microbial inoculation significantly increased ACP and ALP enzymes activity and the availability of phosphorus compared to the control. The highest increase in ALP enzyme activity and available phosphorus was observed in PWC treatment inoculated with PGPR. Furthermore, PWC increased the ACP and ALP enzymes activities in the rhizosphere soil

1, 2 AND 3- Professor, MSc Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Iran
(*-Corresponding Author Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir)

by 1.39 and 1.33 times compared to non-rhizosphere soil, respectively. However, phosphorus availability in the non-rhizosphere soil of the PWC treatment was 21.19% higher than that in the rhizosphere soil. The lowest available phosphorus content was observed in rhizosphere soil of AMF treatment. In addition, the highest phosphorus concentrations in plant root and shoot were, respectively, found in the compost and biochar treatments inoculated with AMF. In PWB treatment, the inoculation of AMF increased shoot phosphorus concentration by 1.31 times relative to PGPR inoculation.

Conclusions: In general, applying organic matter and microbial inoculation had a significant positive effect on phosphorus availability and plant growth. Adding organic matter to the soil, such as compost and inoculation with microorganisms particularly PGPR bacteria in the root zone, led to increased soil available phosphorus. The activity of phosphatases in soil was influenced by using organic materials such as compost and microbial inoculation which enhance the bioavailability of inorganic phosphorus. More positive interaction of PWC and PWB with AMF than PGPR in the rhizosphere caused greater increase of phosphorus bioavailability in the root zone and plant phosphorus uptake. In general, according to the results of this study, it seems that the use of organic materials and biological potential of the microorganisms have a significant effect on phosphorus availability and improve plant growth.

Keywords: Available P, Microorganisms, Organic matter, Rhizosphere