نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۱ شماره ۲ صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۴۹/ سال ۱۴۰۰

مطالعه ریزوسفری اثر کمپوست بقایای هرس درختان در حضور باکتری‌های محرک رشد بر برخی شاخص‌های کیفی خاک

میرحسن رسولی صدقیانی[1]*، رقیه واحدی[2]، محسن برین[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱/۲۸/ ۱۳۹۸

۱-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳-استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبه: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی تاثیر کمپوست حاصل از بقایای هرس درختان میوه در حضور باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) بر برخی شاخص‌های بیولوژیکی خاک آهکی در قالب آزمایشی بصورت فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در رایزوباکس اجرا شد. فاکتورها شامل منابع آلی (کمپوست، بقایای هرس و بدون ماده آلی)، تلقیح میکروبی (باکتری‌های PGPR و بدون تلقیح) و خاک (خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری) بودند. در پایان دوره رشد گیاه گندم، کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی، فسفر زیست توده میکروبی، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کسر متابولیک و فسفاتاز قلیایی در خاک‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری تعیین گردید. نتایج نشان داد که کاربرد کمپوست به‌همراه تلقیح باکتری‌های PGPR باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی، فسفر زیست توده میکروبی و فسفاتاز قلیایی نسبت به تیمار کمپوست (بدون تلقیح) شد. همچنین تیمار کمپوست، کربن زیست توده میکروبی، فسفر زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۵۹ و۱/۰۵ برابر در خاک ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر افزایش داد. بقایای هرس به‌ترتیب موجب افزایش ۱۰/۵۵ و ۲/۲۳ برابری تنفس پایه و تنفس برانگیخته در خاک ریزوسفری در مقایسه با غیرریزوسفر شد. در حالی‌که بقایای هرس سبب افزایش ۱/۲۱ برابری کسر متابولیک در خاک غیرریزوسفری در مقایسه با ریزوسفر شد. چنین استنباط می‌گردد که کاربرد مواد آلی در شرایط تلقیح میکروبی منجر به بهبود شاخص‌های کیفیت بیولوژیکی خاک می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بقایای هرس، رایزوباکس، شاخص‌های کیفیت خاک، ماده آلی

Rhizospheric Study of Pruning Wastes Compost Effect in the Presence of Growth Promoting Bacteria on some Soil Quality Indices

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

Accepted: May 7, 2018 Received: April 17, 2019

[1] Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

[2] M. Sc Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

[3] Assoc. Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran
* Corresponding author E-mail: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of pruning waste compost and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on some biological properties of calcareous soil, A factorial experiment was carried out in a completely randomized design under greenhouse condition in rhizobox. The factors were as the organic matter (compost, pruning wastes and without organic matter), microbial inoculation (PGPR and no inoculation) and soil (rhizosphere and non-rhizosphere soils). At the end of the growth period of wheat, organic carbon, microbial biomass carbon, microbial biomass phosphorus, microbial respiration, substrate-induced respiration, metabolic quotient index and alkaline phosphatase in the rhizosphere and non-rhizosphere soils were determined. The results showed that the application of compost and inoculation of PGPR significantly increased the organic carbon, microbial biomass carbon, microbial biomass phosphorus and alkaline phosphatase activity compared to non-inoculated treatment. Furthermore, compost treatment increased the microbial biomass carbon, microbial biomass phosphorus and alkaline phosphatase activity in the rhizosphere soil by 1.23, 1.59 and 1.05 times compared to those in the non-rhizosphere soil, respectively. Microbial respiration and substrate-induced respiration in the rhizosphere soil of pruning wastes treatment were 10.55 and 2.23 times higher than those in the non-rhizosphere soil, respectively. However, the amount of metabolic quotient in the non-rhizosphere soil of the pruning wastes was 1.21-fold higher than that in the rhizosphere soil. It was concluded that application of organic matters and microbial inoculation caused to improvement in soil biological quality indices.

Keywords: Organic matter, Rhizobox, Soil quality indices, Pruning wastes

مقدمه

ریزوسفر عموما به عنوان حجمی از خاک که در مجاورت و متاثر از ریشه گیاه می‌باشد تعریف شده است. جریان کربن برای اعمال ریزوسفری حیاتی هستند (توئال و همکاران، ۲۰۰۰). عرضه مواد فتوسنتزی و مواد گیاهی در حال تجزیه، به اجتماع ریشه و میکروب‌های همراه در الگوهای ریشه‌دهی و عرضه عناصر فراهم برای گیاه که از فعالیت میکروبی حاصل می‌شود، کلید اصلی در تشکیل و ایفای نقش ریزوسفر است. به این ترتیب ریزوسفر به عنوان نقطه داغ فعالیت و اشغال میکروبی می‌باشد که سبب شده ویژگی‌های بیوشیمیایی این منطقه متفاوت با خاک غیرریزوسفری باشد (موکورجی، ۲۰۰۲). مطالعه خاک ریزوسفری اغلب با مشکلاتی همراه است زیرا لایه خاکی که مستقیماً تحت تأثیر ریشه قرار می‌گیرد بسیار نازک بوده و از طرف دیگر توزیع ریشه در خاک بسیار

گسترده است. به همین خاطر رایزوباکس[1] از جمله ابزارهایی است که به منظور مطالعه دقیق‌تر فرآیندهای ریزوسفری مورد استفاده قرار می‌گیرد و با محدود کردن رشد ریشه‌ها در حجم معینی از خاک، سبب افزایش تراکم ریشه شده و نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری را تسریع می‌نماید. همچنین یک صفحه با منافذ ریز از جنس نایلون یا دیگر مواد مصنوعی و یا استیل ضد زنگ نیز می‌تواند برای محدود کردن رشد ریشه گیاه استفاده گردد. این صفحات اجازه عبور آب، گاز و پخشیدگی مواد غذایی را می‌دهند به گونه‌ای که رشد گیاه تا حد زیادی تحت تأثیر قرار نگیرد (هایلندر، ۲۰۰۲) و اجازه می‌دهد که خاک را در فاصله‌های معین تعریف شده از سطح ریشه با برش‌های مساوی جمع-آوری کرد.

ماده آلی نه تنها منبع بزرگی از عنصرهای غذایی است بلکه با تشدید فعالیت زیستی در خاک به چرخش بهتر مواد غذایی کمک می‌کند (ولن و همکاران، ۲۰۰۱). وجود ماده آلی بیشتر در خاک به تأمین بیشتر انرژی، کربن و عناصر غذایی و در نهایت فعالیت میکروبی بیشتر منجر می‌شود(بالوتا و همکاران، ۲۰۰٤). چرا که فعالیت‌های میکروبی در چرخش ماده آلی، عناصر غذایی و حفظ حاصلخیزی خاک‌ها نقش مهمی دارند. خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران، به علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، حاوی مادهٔ آلی کمی است. لذا یافتن راهکارهای مفید، دارای توجیه اقتصادی و سازگار با محیط زیست در مبارزه با کمبود ماده آلی مورد توجه می‌باشد. استفاده از بقایای هرس و تبدیل آن‌ها به کمپوست یکی از مهمترین راه-های حفظ بیلان کربن آلی خاک، چرخش طبیعی مواد و عناصر، افزایش کیفیت و سلامت خاک در سیستم کشاورزی است. سالانه میلیون‌ها تن بقایای هرس درختان میوه در سطح کشور تولید می‌شود که می‌تواند سهمی در تامین ماده آلی داشته باشد، ولی متاسفانه قسمت اعظم آن سوزانده شده، یا در گوشه‌ای رها گردیده و موجب آلودگی محیط زیست را می‌شود. گزارش شده است که کمپوست سازی، مؤثرترین روش برای کنترل و مدیریت بقایای مواد آلی است (پرییا و گارج، ۲۰۰٤). کمپوست یک فرآورده حاصل از انجام فرآیندهای بیوشیمیایی در بقایای آلی است و حاوی بسیاری از عناصر سودمند بوده که به تدریج و پیوسته در خاک آزاد و در دسترس گیاه قرار می‌گیرند (کراواکا و همکاران، ۲۰۰۳). کمپوست کردن شامل تجزیه مواد آلی توسط مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌ها در یک محیط گرم، مرطوب و هوازی یا تجزیه بیولوژیکی توده بقایای آلی در شرایط کنترل شده می‌باشد که با عرضه آن به خاک علاوه بر جنبه‌های غذایی، ارتقاء شرایط فیزیکی و کیفی خاک نیز تأمین می‌گردد (مکهابلا و همکاران، ۲۰۰۸). اقبال و همکاران (۲۰۰٤) بیان کردند که اثرات باقیمانده کودهای گاوی و کمپوست تا چهار سال بعد از کاربرد این کودها ادامه داشته و می‌تواند خصوصیات کیفی خاک را بهبود دهد. کیفیت خاک علاوه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، دارای ارتباط نزدیکی با خصوصیات بیولوژیکی آن نیز می-باشد. هریک (۲۰۰۰) بیان نمود که شاخص‌های بیولوژیک خاک از جنبه‌های مهم کیفیت خاک هستند و به همین دلیل کیفیت خاک با استفاده از خواص مختلف بیولوژیک نیز اندازه‌گیری می‌شود. اصولاً خاکی که از تنوع و توزیع مناسب میکروبی برخوردار باشد و میکروارگانیسم‌های آن به خوبی فعالیت کنند، از نظر کیفی در سطح بالایی است. فعالیت آنزیمی و زیست توده میکروبی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک محسوب می‌شوند. فعالیت آنزیمی و زیست توده میکروبی ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند زیرا تبدیل عناصر آلی مهم از طریق میکروارگانیسم‌ها صورت می‌پذیرد. آنزیم‌های خاک تولید شده توسط میکروب‌ها،

1- Rhizobox

نقش کلیدی در عملکرد بیوشیمیایی، تجزیه مواد آلی و چرخه عناصر غذایی ایفا می کنند (والدروپ و همکاران، ۲۰۰٤). علاوه بر زیست توده‌ی میکروبی و آنزیم‌ها، تنفس خاک نیز از جمله شاخص‌های کیفیت می‌باشد که به ایجاد هر گونه تغییر در مدیریت خاک یا شرایط محیطی سریعاً عکس‌العمل نشان می‌دهند. تنفس میکروبی خاک و تنفس برانگیخته اساساً فرآیندهای سلولی بوده و واکنش‌های بیوشیمیایی بسیاری را در بر می‌گیرد. این فرآیندها علاوه براینکه شاخصی از وضعیت و فعالیت میکروب‌های خاک است، بیان‌گر روند و چگونگی تجزیه مواد آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه برخی از عناصر غذایی خاک می‌باشد (لیو و زوو، ۲۰۰٦). بورکن و همکاران (۲۰۰۲) در مورد تأثیر کاربرد کمپوست، بر تنفس و کربن زیست توده میکروبی خاک مطالعه‌ای انجام دادند و اظهار داشتند که با به کار بردن کمپوست، میزان تنفس و کربن زیست توده میکروبی خاک افزایش می‌یابد. تجادا و گونزالز (۲۰۰٦) بیان کردند که عموماً افزایش در کربن زیست توده میکروبی، به اثرات مثبت کودهای آلی (کمپوست) در خاک مربوط می‌شود. هم‌چنین مواد ساده و قابل دسترسی که کودهای آلی در اختیار قرار می‌دهند، باعث تحریک فعالیت میکروبی شده و منجر به افزایش تنفس خاک، کربن و فسفر زیست توده میکروبی و نیز فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در خاک می‌گردد. از سوی دیگر یک سری میکروارگانیسم‌ها همانند باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR[1]) در خاک قادر به تحریک و افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک بوده و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و زیست توده میکروبی را در خاک تشدید می‌کنند (کائور و رددی، ۲۰۱٤). در حالت طبیعی معمولاً جمعیت PGPRها در ریزوسفر پایین بوده، چنان‌که نمی‌توانند بطور قابل توجهی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شوند. بنابراین تلقیح بذر گیاهان با جمعیت‌های بالای باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌تواند تعداد این باکتری‌ها را در ریزوسفر به حد مطلوب رسانده و در نتیجه منجر به افزایش شاخص‌های بیولوژیک در خاک ریزوسفری در مقایسه با خاک غیرریزوسفر گردد (ککماکسی و همکاران، ۲۰۰۷). زیرا ریشه‌های گیاه معابر اصلی برای انتقال مواد حاصل از فتوسنتز از برگ‌ها به خاک ریزوسفری می‌باشند. تراوشات ریشه و محتویات سلول‌های خارجی پوست ریشه، ناپایدار بوده وآماده برای متابولیسم باکتریایی می‌باشند. در مقابل، مواد آلی (کمپوست یا بقایای هرس) در خاک غیرریزوسفری به کندی توسط باکتری‌ها متابولیزه شده و بدون ورودی‌های آلی خارجی، زیست توده میکروبی ثابت نخواهد ماند (دی نوبیلی و همکاران، ۲۰۰۱). تجزیه‌ی بقایای گیاهی در خاک یک فرآیند میکروبی بسیار پیچیده است که توسط عوامل مختلف از جمله ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بقایا و خاک کنترل می‌شود. در محیط خاک مهم‌ترین عامل محدود کننده فعالیت میکروبی قابلیت دسترسی به سوبسترای کربنه‌ی قابل مصرف است که با ورود سوبسترای کربنه به خاک مانند بقایای گیاهی (کمپوست و بقایای هرس درختان میوه) جمعیت میکروبی در اطراف سوبسترا افزایش یافته و سبب بهبود خواص کیفی خاک می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه بر این، لیانگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که قرار دادن ماده آلی (کمپوست) در اطراف ریزوسفر یا خارج از ریزوسفر تاثیر قابل توجهی در فعالیت میکروبی در ریزوسفر و خاک غیرریزوسفری در پی داشته است. بنابراین مطالعه ریزوسفر پیامدهای سودمندی در پی خواهد داشت. با این حال، اطلاعات در زمینه شناخت شاخص‌های بیولوژیکی در ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر خیلی ناقص و پراکنده است. رابطه بین کمپوست و نیز میکروارگانیسم‌های خاک و تاثیرات آن‌ها در فرآیندهای بیولوژیکی خاک در ریزوسفر هنوز به اندازه کافی توصیف نشده است، همچنین پژوهش‌های کمی در این ارتباط در رایزوباکس انجام گرفته و نیز با توجه به

1- Plant growth promoting rhizobacteria

اهمیت روزافزون ماده آلی و کودهای بیولوژیک در کشاورزی، هدف از این تحقیق بررسی تاثیر کاربرد کمپوست بقایای هرس درختان میوه بر برخی خصوصیات بیولوژیکی خاک در حضور باکتری‌های PGPR در شرایط رایزوباکس می‌باشد. لذا این تحقیق با دو فرضیه انجام شد: ۱- کاربرد بقایای هرس درختان سیب و انگور یا کمپوست آن‌ها و تلقیح میکروبی در خاک باعث بهبود خواص کیفی خاک می‌شود. ۲- افزایش شاخص‌های کیفی خاک در ناحیه ریزوسفر بیشتر از غیرریزوسفر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار که فاکتورها شامل منابع آلی (کمپوست بقایای هرس درختان سیب و انگور، بقایای هرس درختان سیب و انگور و بدون ماده‌آلی)، تلقیح میکروبی (باکتری‌های (*Pseudomonas aeruginosa*، *Pseudomonas fluorescens* و *Pseudomonas putida* و بدون تلقیح) و خاک (ریزوسفری و غیرریزوسفری) بود. برای انتخاب نمونه خاک و آماده‌سازی بستر کشت، نمونه‌های خاک غیر زراعی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری شهرستان سلماس واقع در آذربایجان غربی تهیه شد و بعد از هوا خشک کردن از غربال ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس در دستگاه اتوکلاو و با دمای ۱۲۱درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲ ساعت استریل شدند. قبل از استریل کردن خاک، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (اسپارکس و همکاران، ۱۹۹۶) (جدول۱). بقایای هرس درختان سیب و انگور از باغ‌های استان آذربایجان غربی شهرستان ارومیه جمع‌آوری شد. سپس در آون در دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت خشک شد. همچنین کمپوست بقایای هرس از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه گردید. در نهایت بقایای هرس و کمپوست بقایای هرس آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. سپس بقایای هرس و کمپوست این بقایا نیز همانند خاک استریل گردید. برخی از ویژگی‌های بقایای هرس و کمپوست آن‌ها مانند pH و EC در عصاره صاف شده ۱ به ۵ بقایای هرس به آب و ۱ به ۵ کمپوست به آب، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر و پتاسیم به روش هضم خشک و سپس فسفر با روش مولیبدات وانادات (رنگ زرد)، پتاسیم با فلیم-فتومتر و کربن به روش والکی بلاک اندازه‌گیری شدند (جدول۲). جهت انجام آزمون گلخانه‌ای و به‌منظور کشت گیاه از رایزوباکس استفاده شد. باکس‌های ریزوسفر در ابعاد۲۰×۱۵×۲۰ سانتی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) استفاده شد (شکل ۱). فضای هر باکس با استفاده از صفحات مشبک نایلونی ۳۲۵ مش به سه قسمت: ۱) ناحیه ریزوسفری در وسط رایزوباکس به ضخامت ۲ سانتی‌متر، ۲) ناحیه غیرریزوسفری در دو طرف ناحیه ریزوسغری هرکدام به ضخامت ۵/۸ سانتی‌متر تقسیم شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، بقایای هرس و کمپوست بقایای هرس هر کدام برحسب ۱/۵ درصد کربن آلی خالص به خاک اضافه و به باکس‌ها منتقل گردید. همچنین مقدار ۸۰ میلی‌گرم فسفر از منبع خاک فسفات به عنوان منابع نامحلول فسفر در هر کیلوگرم خاک به فاصله‌ی ۵ سانتی‌متری زیر بذرها قرار داده شد. برای تلقیح میکروبی از سویه‌های میکروبی موجود در بانک میکروبی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه که شامل سودوموناس‌های فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P. Fluorescens, P. aeruginosa* و *P. putida*) بودند، استفاده گردید. برای تلقیح بذرهای ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد از روش اضافه کردن سوسپانسیون باکتری‌ها (یک میلی لیتر از سوسپانسیون برای هر بذر بود. بطوریکه سوسپانسیون باکتریایی تلقیح شده با OD= ۰/۷ در

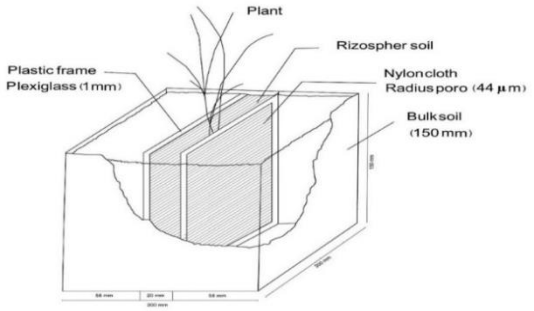
λ = ٦٠٠nm جمعیت حدود $cfu\ ml^{-1}$ ۱۰^۸*۱بود.) به خاک اطراف بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) هم-زمان با کاشت استفاده شد. پس از افزودن مایه‌های تلقیح، برای کشت گیاه، بذرهای گندم رقم پیشتاز به تعداد شش بذر در قسمت ریزوسفری رایزوباکس‌ها کشت گردیدند. پس از جوانه زدن بذرها، ٤ بوته (بوته-های سالم‌تر و قوی‌تر) نگه‌داشته شدند. در طول دوره کشت از آب مقطر به منظور آبیاری و جهت تامین مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی Rorison (راریسون، ۱۹٦۹) عاری از فسفر استفاده شد. در پایان پس گذشت ٦٥ روز، رایزوباکس‌ها باز شدند. از هر رایزوباکس دو نمونه خاک، یکی از بخش ریزوسفر و دیگری از بخش غیرریزوسفری برداشت شد. کربن آلی (اسپارکس و همکاران، ۱۹۹٦)، کربن زیست توده میکروبی (جنکینسون و لدد، ۱۹۸۱)، فسفر زیست توده میکروبی (برووکس و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفاتاز قلیایی (طباطبایی و برمنر، ۱۹٦۹)، تنفس پایه (اندرسون، ۱۹۸۲) و تنفس برانگیخته (الف و نانیپیری، ۱۹۹٥) اندازه‌گیری شدند. همچنین برای برآورد کسر متابولیکی از تقسیم میزان تنفس پایه بر کربن زیست توده میکروبی (اندرسون و دامش، ۱۹۹۰) استفاده شد. 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.

جدول ۱- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

بافت خاک	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	کربن آلی (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)
شن لومی	۷/٥۳	۰/٤۷	۰/۲٥	۱٤/۲٥	۰/۰۸	۷/٦٤	۹۸

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بقایای هرس و کمپوست حاصل از بقایای هرس درختان سیب و انگور.

ویژگی‌ها	بقایای هرس سیب و انگور	کمپوست بقایای هرس سیب و انگور
pH	٥/٦۲	۷/۰٥
EC ($dS\ m^{-1}$)	۲/٥۷	۱۷/۸۷
نیتروژن (%)	۱/۱۰	۳/۷۲
کربن (%)	٤٤/۲۲	۳۰/۰۲
C/N	٤۰/۲۲	۷/۹۲
پتاسیم (%)	۰/٤۸	۲/۹۰
فسفر کل (%)	۰/٦۷	۷/٥٤



شکل۱- شماتیکی از سیستم رایزوباکس.

نتایج و بحث

-کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی و فسفر زیست توده میکروبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی منابع آلی، تلقیح میکروبی و خاک (ریزوسفری و غیرریزوسفری) بر کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی و فسفر زیست توده میکروبی معنی‌دار بود (p<۰/۰۰۱). بر اساس جدول (۳) مقادیر کربن آلی خاک تحت تاثیر منابع آلی و تلقیح میکروبی قرار گرفته است (p<۰/۰۰۱). بطوریکه تلقیح باکتریایی، میزان کربن آلی خاک را در تیمارهای کمپوست و بقایای هرس حتی در تیمار بدون ماده آلی نیز افزایش داده است. اما بیشترین مقدار کربن آلی در تیمار مشترک کمپوست و تلقیح باکتری (۳/۰۲) بود. زمانی که کمپوست به عنوان ماده آلی به خاک افزوده می‌شود سبب افزایش مقدار کربن آلی خاک شده و میکروارگانیسم‌ها این کربن آلی را صرف افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک همانند ساختمان خاک کرده و بهبود ساختمان خاک سبب حفظ و ذخیره کربن آلی خاک می‌گردد (جوردن و همکاران، ۲۰۰۰). بطور کلی با افزودن ماده آلی به‌ویژه کمپوست به خاک تفاوت معنی‌داری در ماده آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری مشاهده شد (p<۰/۰۰۱) (جدول ٤). حتی در تیمار بدون ماده آلی نیز افزایش ماده آلی در خاک ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر قابل توجه بود. الویرا و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که افزودن کمپوست به خاک سبب افزایش ماده آلی خاک شد. آن‌ها بیان کردند که بخش کربن فعال موجود در کمپوست پس از اینکه به خاک افزوده شده تجزیه گردیده و نیز بخشی از کربن موجود در کمپوست به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش سطح ماده آلی خاک شده است. بطور کلی ریزوسفر محیطی است که در آن تجمع و تجزیه ترکیبات آلی رخ می‌دهد بنابراین دور از انتظار نیست که ماده آلی در ریزوسفر بیشتر از غیرریزوسفر باشد. تلقیح باکتریایی منجر به افزایش کربن آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری نسبت به تیمار بدون تلقیح شد (p<۰/۰۰۱)، بطوریکه افزایش کربن آلی در خاک ریزوسفری تلقیح شده با باکتری‌های PGPR ۱/۱٦ برابر بیشتر از غیرریزوسفری آن بود (جدول ٥). فرآیندهای ریشه یا فعالیت میکروارگانیسم‌های تحریک شده در مجاورت ریشه‌ها در نتیجه رهاسازی ترشحات ریشه‌ای مسئول تغییرات بیوشیمیایی و فیزیکی در ریزوسفر هستند که در مقایسه با خاک غیرریزوسفری متفاوت است. همچنین فراوانی ترکیبات آلی در ریزوسفر منجر به افزایش میکروارگانیسم‌ها شده زیرا این مواد به عنوان منبع غذا و انرژی برای میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌گردند که این فرآیند به اثر ریزوسفری معروف است. البته تاثیر ریزوسفر یا اثر ریزوسفری بر حسب ویژگی‌های خاک و گیاه و همچنین فراوانی میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر در مقایسه با خاک غیرریزوسفر متفاوت است، برای مثال فراوانی ترکیبات آلی در ریزوسفر منجر به افزایش ٥ تا ٥٠ برابری میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با خاک غیرریزوسفر شده است (جونز و همکاران، ۲۰۰٤).

بطور کلی تلقیح باکتریایی در تمامی تیمارهای ماده آلی و بدون ماده آلی باعث افزایش کربن زیست توده میکروبی شد (p<۰/۰۰۱). بیشترین میزان کربن زیست توده میکروبی مربوط به تیمار مشترک کمپوست و تلقیح باکتری بود که ۱/٤۸ برابر بیشتر از تیمار بدون تلقیح بود. همچنین تلقیح باکتریایی، کربن زیست توده میکروبی در تیمار بقایای هرس را نیز نسبت به بدون تلقیح افزایش یافت، هرچند این افزایش معنی‌دار نبود (جدول۳). به طور معمول قسمت عمده زیست توده میکروبی خاک غیر فعال است که به دلیل محدودیت غذایی می‌باشد. از این رو افزودن پیش‌ماده‌های آلی

ساده مانند کودهای آلی عموماً فعالیت میکروبی و کربن زیست توده میکروبی خاک را افزایش می‌دهد. معمولاً خاک‌هایی با برگشت زیاد مواد آلی دارای بیشترین مقدار فعالیت و زیست توده میکروبی می‌باشند. افزایش کربن زیست توده میکروبی در نتیجه کاربرد کمپوست بدلیل تأمین بستر مناسب برای باکتری‌های PGPR است که فعالیت آن‌ها را تحریک می‌کند و باعث افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک می‌شود (فایرر و همکاران، ۲۰۰۳). کربن زیست توده میکروبی در هر دو تیمار آلی نسبت به تیمار بدون ماده آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری افزایش معنی‌دار داشت (p<۰/۰۱). – بطوریکه کمپوست بقایای هرس میزان کربن زیست توده میکروبی را در خاک ریزوسفری به ترتیب ۱/۲۳ و ۲/٦۰ برابر نسبت به خاک غیرریزوسفری و تیمار بدون ماده آلی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری افزایش داد (جدول٤). زمان و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که مصرف کمپوست زباله شهری به دلیل افزایش نیتروژن، کربن کل و کربن آلی محلول در خاک، نقش مثبتی در افزایش کربن زیست توده میکروبی خاک دارد که با نتایج حاصل شده از تحقیق حاضر مطابقت دارد، زیرا نتایج نشان داد مقدار کربن آلی و نیتروژن کل (جدول۲) در تیمار کمپوست نسبت به سایر تیمارهای آلی بیشتر بود. دهقان منشادی و همکاران (۲۰۱۲) نیز مشاهده کردند که افزودن کمپوست به خاک ۲/٦۷ برابر بیشتر از شاهد کربن زیست توده میکروبی را در خاک ریزوسفری گیاه ریحان افزایش داد. افزایش کربن زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفری در این تحقیق مطابق با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین در خاک‌های ریزوسفری ذرت (هلال وسائربک، ۱۹۸٤) و چاودار (دنرگارد و مجید، ۲۰۰۱) نسبت به خاک غیرریزوسفری بود. بر اساس جدول۵، تمامی مقادیر کربن زیست توده میکروبی تحت تاثیر تلقیح باکتری‌های PGPR در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری قرار گرفته است (p<۰/۰۱). باکتری‌های PGPR منجر به افزایش ۱/۳٤ برابری میزان کربن زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفردر مقایسه با خاک غیرریزوسفری شدند. معمولاً کربن زیست توده میکروبی را به عنوان برآوردی از فعالیت و حیات توده میکروبی خاک محسوب می‌کنند. تیمارهای آزمایشی ما نیز همسو با نتیجه گزارش شده توسط لی و همکاران (۲۰۱۲) در خاک ریزوسفری ذرت بود.

مقایسه میانگین تأثیر منابع آلی و تلقیح میکروبی بر فسفر زیست توده میکروبی در جدول (۳) نشان داد (p<۰/۰۵)، بیشترین میزان این شاخص مربوط به تیمار مشترک کمپوست و تلقیح باکتری‌های PGPR بود که ۳/۳٦ برابر بیشتر از تیمار بدون تلقیح بود. بطور کلی تلقیح میکروبی سبب افزایش فسفر زیست توده میکروبی در تیمارها شد. هرچند تیمار مشترک بقایای هرس و تلقیح میکروبی، اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با تیمار بدون تلقیح بقایای هرس و نیز تیمار مشترک بدون ماده آلی و تلقیح میکروبی نشان نداد. فسفر زیست توده میکروبی بطور معنی‌داری در تیمار کمپوست در خاک ریزوسفری بیشتر از غیرریزوسفر بود، هرچند در سایر تیمارها نیز روند این چنین بود ولی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (p<۰/۰۵). بطوریکه فسفر زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفری با تیمار کمپوست ۱/۵۹ برابر بیشتر از غیرریزوسفر بود (جدول ٤). تلقیح باکتریایی نسبت به تیمار بدون تلقیح سبب افزایش فسفر زیست توده میکروبی در خاک شد (p<۰/۰۱). بطوریکه باکتری‌های PGPR در خاک ریزوسفری منجر به افزایش ۱/۹۳ برابری فسفر زیست توده میکروبی در مقایسه با غیرریزوسفر شد (جدول۵).

تلقیح باکتری‌های حل کننده فسفات و کمپوست باعث افزایش فسفر زیست توده میکروبی خاک شد (تجادا و گونزالز، ۲۰۰٦). همچنین بابالولا و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در نتیجه افزودن کمپوست بقایای گیاهی به خاک جمعیت میکروارگانیسم‌ها افزایش

یافته و باعث افزایش فسفر زیست توده میکروبی در خاک شد. ریزوسفر تاثیر معنی‌داری بر فسفر زیست توده میکروبی در مقایسه با غیرریزوسفر در خاک داشت (p<۰/۰۵)، بطوریکه کاربرد کمپوست بقایای هرس منجر به افزایش فسفر زیست توده در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد که در خاک ریزوسفر ۱/۵۹ برابر بیشتر از خاک غیرریزوسفری بود (جدول٤). ردل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزودن کمپوست به خاک ارتباط مثبتی بین فسفر زیست توده میکروبی و فسفر اولسن (عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم) وجود داشت که با نتایج حاصل شده از این تحقیق مطابقت دارد. زیرا نتایج نشان داد تیمار کمپوست بیشترین فسفر قابل استفاده را نسبت به سایر تیمارها در خاک داشت (جدول۲). بنابراین احتمالا سبب افزایش فسفر در خاک شده البته این افزایش فسفر در خاک غیرریزوسفری به علت جذب بیشتر فسفر توسط گیاه در ریزوسفر بوده است. چرا که افزایش فسفر زیست توده میکروبی در ریزوسفر گویای مطلب ذکر شده است. بطور کلی فسفر زیست توده میکروبی می‌تواند مخزن مهمی برای فسفر قابل جذب از طریق رقابت با گیاهان برای جذب فسفر یا منبع مهمی از فسفر از طریق تامین قسمتی از فسفر مورد نیاز گیاه باشد. بنابراین فسفر زیست توده میکروبی

تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کسر متابولیک

مقایسه میانگین تیمارهای اعمال شده بر میزان تنفس پایه و تنفس برانگیخته در جدول (٦) قابل مشاهده است (p<۰/۰۰۱). بقایای هرس سبب افزایش تنفس پایه و برانگیخته شد که این افزایش در حضور باکتری‌های PGPR، بترتیب ۱/۵۸ و۲/۲۳ برابر بیشتر از شرایط بدون تلقیح بود. با افزودن ماده آلی به خاک تفاوت معنی‌داری در تنفس پایه و برانگیخته در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری مشاهده شد هرچند در تیمار بدون ماده آلی نیز روند این چنین نبود (p<۰/۰۰۱). با این وجود، میزان تنفس پایه و برانگیخته در خاک ریزوسفری و غیریزوسفری در تیمارهای آلی بیشتر از تیمارهای بدون ماده آلی بود، بطوری‌که بیشترین میزان تنفس پایه (۹۷ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر کیلوگرم خاک در روز) و برانگیخته (١٢٤/٦ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر کیلوگرم خاک در روز) در خاک ریزوسفری مربوط به تیمار بقایای هرس بود (جدول۷).

باکتری‌های PGPR تاثیر معنی‌داری بر میزان تنفس پایه و برانگیخته در خاک ریزوسفری و خاک غیرریزوسفری نسبت به تیمار بدون تلقیح در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری داشتند (p<۰/۰۰۱) (جدول۸). این باکتری‌ها منجر به افزایش ۱۰/۵۵ و ۲/۲۳ برابری تنفس پایه و برانگیخته در خاک ریزوسفر در مقایسه با غیرریزوسفر شدند.

نسبت دی‌اکسید کربن متصاعد شده به کربن زیست توده میکروبی (کسر متابولیک) شاخصی از کارایی استفاده از سوبسترا توسط ریزموجودات است. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار تلقیح میکروبی، منابع آلی و خاک همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر کسر متابولیک اندازه‌گیری شده داشت (p<۰/۰۰۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان کسر متابولیک در تیمار مشترک بقایای هرس و تلقیح باکتریی مشاهده شد همچنین در تیمارهای بدون تلقیح نیز نتایج مشابه بود (جدول٦). می‌تواند یک مکانیسم حفاظتی فسفر لبایل[1] در خاک‌های با دسترسی پایین فسفر (جدول ۱) باشد. بطور کلی فسفر زیست توده میکروبی در خاکی با pH قلیایی (جدول۱) افزایش یافت که این نتیجه همسو با تحقیقات مارشنر و همکاران (۲۰۰۵) بود. آن‌ها نیز گزارش کردند که فسفر زیست توده میکروبی در خاک‌هایی با دامنه‌ای از pH ٤/٤ تا ۸/۷ در خاک ریزوسفری گندم بیشتر از خاک غیرریزوسفری بود که علت این افزایش

1- Labile

فسفر زیست توده میکروبی در ریزوسفر را کاهش pH ریزوسفر از طریق ترشحات ریشه‌ای و فعالیت میکروارگانیسم عنوان نمودند.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر منابع آلی و تلقیح میکروبی بر کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی (MBC) و فسفر زیست توده میکروبی (MBP).

		کربن آلی %	کربن زیست توده میکروبی MBC (mg/kg soil)	فسفر زیست توده میکروبی MBP (mg/kg soil)
تلقیح	کمپوست	۳/۰۲ a	۷۴۳/۴a	۶۸/۸۸a
	بقایای هرس	۰/۸۹c	۳۸۵c	۱۰/۸۴c
	بدون ماده آلی	۰/۴۲e	۳۱۶/۵d	۷/۸۱cd
بدون تلقیح	کمپوست	۱/۷۱b	۵۰۰/۸b	۲۰/۴۹b
	بقایای هرس	۰/۶۸d	۳۳۸cd	۶/۹۳cd
	بدون ماده آلی	۰/۳۲f	۲۱۱/۳e	۵/۱۲d

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر منابع آلی و خاک بر کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی (MBC) و فسفر زیست توده میکروبی (MBP).

		کربن آلی %	کربن زیست توده میکروبی MBC (mg/kg soil)	فسفر زیست توده میکروبی MBP (mg/kg soil)
ریزوسفر	کمپوست	۲/۵۰a	۶۸۶/۴a	۵۴/۹۶a
	بقایای هرس	۰/۸۷c	۴۳۳/۴c	۱۰/۱۱c
	بدون ماده آلی	۰/۴۳e	۳۱۵/۶d	۷/۷۰cd
غیرریزوسفر	کمپوست	۲/۲۲b	۵۵۷/۹b	۳۴/۴۱b
	بقایای هرس	۰/۷۰d	۲۸۹/۶d	۷/۶۵cd
	بدون ماده آلی	۰/۳۰f	۲۱۲/۱e	۵/۲۳d

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تلقیح میکروبی و خاک بر کربن آلی، کربن زیست توده میکروبی (MBC) و فسفر زیست توده میکروبی (MBP).

		کربن آلی %	کربن زیست توده میکروبی MBC (mg/kg soil)	فسفر زیست توده میکروبی MBP (mg/kg soil)
تلقیح	ریزوسفر	۱/۵۵a	۵۵۲a	۴۷/۳۵a
	غیرریزوسفر	۱/۳۳b	۴۱۱/۳b	۲۲/۸۹b
بدون تلقیح	ریزوسفر	۰/۹۹c	۴۰۵b	۱۳/۰۵c
	غیرریزوسفر	۰/۸۲d	۲۹۵/۱c	۸/۶۵d

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ۵ درصداختلاف معنی‌داری ندارند.

تیمارهای آلی به‌طور معنی‌دار میزان کسر متابولیک را در خاک (ریزوسفری و غیرریزوسفری) نسبت به تیمار بدون ماده آلی افزایش داد و در تمامی تیمارها میزان این شاخص در غیرریزوسفر بیشتر از ریزوسفر بود. نتایج نشان داد که بقایای هرس سبب افزایش (۱/۳۱ برابری) کسر متابولیک در غیرریزوسفر نسبت به ریزوسفر گردید (جدول۷). ریزوسفر تاثیر معنی‌داری در کاهش کسر متابولیک در مقایسه با غیرریزوسفر در خاک داشت. تلقیح باکتری‌های PGPR منجربه افزایش این شاخص در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری شد که در خاک غیرریزوسفر۱/۲۱ برابر بیشتر از خاک ریزوسفری بود (جدول ۸).

نتایج بدست آمده حاکی از آن است که افزودن ماده آلی همراه با تلقیح میکروبی به خاک منجر به افزایش میزان تنفس پایه و برانگیخته شد. بطوری‌که بقایای هرس و تلقیح باکتری‌های PGPR فعال‌تر از سایر تیمارهای بودند. اگرچه که تیمار کمپوست نیز در تلقیح با باکتری‌های PGPR بعد از تیمار مشترک بقایای هرس و تلقیح باکتریایی قرار داشت. علت افزایش میزان تنفس پایه و برانگیخته بقایای هرس علاوه بر شرایط محیطی مربوط به C/N بالای آن‌ها (جدول۲) می‌باشد. علیزاده و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که ترکیبات آلی با کربن زیاد و نیتروژن کم درمحیط کشت باکتری نیز منجر به افزایش C/N شد که به تبع آن جمعیت میکروبی افزایش یافت و منجر به افزایش تنفس شد. ریزوسفر به عنوان نقطه داغ فعالیت و اشغال میکروبی می‌باشد که در مقایسه با خاک غیرریزوسفری، جایی که منابع آلی در حد پایینی است، ریزوسفر با سطوح بالاتری از عناصر، منبع تامین کننده عناصر غذایی طی فرآیند فتوسنتز شده و باعث می‌شود محیط مناسبی برای میکروارگانیسم‌ها ایجاد شود و در نهایت منجر بهبود فعالیت‌های بیولوژیک در خاک شود.

در مطالعه‌ی حاضر طبق آنچه که گزارش شد تنفس پایه و برانگیخته در تیمار بقایای هرس، بالا بود. دور از انتظار نبود که این تیمار موجب افزایش کسر متابولیک شود. زیرا این شاخص در شرایط ناپایدار و حضور تنش‌های محیطی مختلف افزایش می‌یابد (بونمانن و همکاران، ۲۰۰٦). بوستامانت و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که علی رغم جمعیت میکروبی بالا در ضایعات انگور، کسر متابولیک بدلیل بالا بودن C/Nبالا بود. با افزایش کسر متابولیک قسمت اعظم سوبسترا معدنی و از طریق فعالیت و تنفس میکروارگانیسم‌ها خارج می‌شود (اندرسون و دامش ،۱۹۹۰). برای تفاوت کسر متابولیک در خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر فرضیه‌ای پیشنهاد شده است: میزان کسر متابولیک کمتر نشان‌دهنده سطح پایین تنش در جامعه میکروبی خاک ریزوسفری است که این فرضیه مطابقت با نتایج حاصل دارد چرا که در تمامی تیمارها میزان این شاخص در خاک ریزوسفر کمتر از غیرریزوسفر بود. می‌توان نتیجه گرفت اگر کسر متابولیک در تیماری بالا باشد افزایش در جمعیت باکتریایی رخ داده است (ایزلام و ویل، ۲۰۰۰). دیاز-راوینا و بت (۱۹۹٦) گزارش کردند که میکروب‌ها با وارد شدن تنش‌های وارد شده به خاک، فعالیت‌های زیستی خود را به طور چشم گیری افزایش می‌دهند و انرژی بیشتری را برای روبرو شدن با تنش و زنده ماندن در زیستگاه به کار می‌برند که با افزایش تنفس هویدا می‌شود.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر منابع آلی و تلقیح میکروبی بر تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کسر متابولیک.

		تنفس پایه (mg CO_2-C day^{-1}/kg soil)	تنفس برانگیخته (mg CO_2-C day^{-1}/kg soil)	کسر متابولیک (mg CO2 -C mg^{-1} MBC day^{-1})
تلقیح	کمپوست	۸۲/۵۰b	۱۱۷/۹b	۰/۱۱c
	بقایای هرس	۱۱۱/۳a	۱٤۱/٥a	۰/۳۰a
	بدون ماده آلی	۲٤/۳۹e	۲۸/٦۰e	۰/۰۷e
بدون تلقیح	کمپوست	٤٦/٥۱d	٤۹/۳۷d	۰/۰۹d
	بقایای هرس	۷۰/٤٤c	٦۳/۱۹c	۰/۲۱b
	بدون ماده آلی	۹/۹۷f	۱٦/۱۰e	۰/۰٤f

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول۷- مقایسه میانگین اثر منابع آلی و خاک بر تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کسر متابولیک.

		تنفس پایه (mg CO_2-C day^{-1}/kg soil)	تنفس برانگیخته (mg CO_2-C day^{-1}/kg soil)	کسر متابولیک (mg CO_2 -C mg^{-1} MBC day^{-1})
ریزوسفر	کمپوست	٦۹/۷۷c	۱۰۲/۲b	۰/۱۰d
	بقایای هرس	۹۷a	۱۲٤/٦a	۰/۲۲b
	بدون ماده آلی	۱۹/٦٦e	۲٦/۰۷e	۰/۰٦f
غیرریزوسفر	کمپوست	٥۹/۲٤d	٦٥/۱۳d	۰/۱۱c
	بقایای هرس	۸٤/۷۱b	۸۰/۰۳c	۰/۲۹a
	بدون ماده آلی	۱٤/۷۰e	۱۸/٦۳e	۰/۰۷e

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تلقیح میکروبی و خاک بر تنفس پایه، تنفس برانگیخته و کسر متابولیک.

		تنفس پایه (mg CO_2-C day^{-1}/kg soil)	تنفس برانگیخته (mg CO_2-C day^{-1}/kg soil)	کسر متابولیک (mg CO_2 -C mg^{-1} MBC day^{-1})
تلقیح	ریزوسفر	۷٥/٥٥a	۱۱۷/۱a	۰/۱٤b
	غیرریزوسفر	٦۷/٥۸b	۷٤/۸۹b	۰/۱۷a
بدون تلقیح	ریزوسفر	٤٦/٤۳c	٥۱/٤٦c	۰/۱۰d
	غیرریزوسفر	۳۸/۱۹d	۳۱/۳٤d	۰/۱۲c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

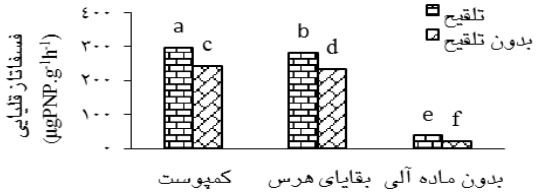
-آنزیم فسفاتاز قلیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و متقابل منابع آلی، تلقیح میکروبی و خاک (ریزوسفری و غیریزوسفری) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی معنی-دار گردید ($p<۰/۰۰۱$). باکتری‌های PGPR در همه تیمارها تاثیر بسزایی بر میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی داشت. با این وجود، تیمار کمپوست تلقیح شده بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را به خود اختصاص داد. بطوریکه سبب افزایش ۷/۸۳ برابری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در مقایسه با تیمار مشترک

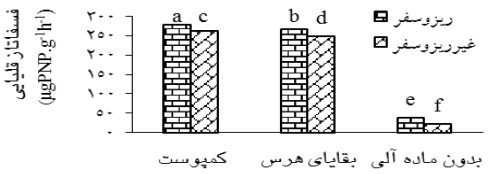
بدون ماده آلی و تلقیح باکتریایی شد. حتی در بین تیمارهای بدون تلقیح نیز کمپوست سبب افزایش فعالیت این آنزیم نسبت به سایر تیمارها شد (شکل۲-الف). تیمارهای آلی به‌طور معنی‌دار میزان آنزیم فسفاتاز قلیایی را در خاک (ریزوسفری و غیرریزوسفری) نسبت به تیمار بدون ماده آلی افزایش داد. نتایج نشان داد که کمپوست بقایای هرس سبب افزایش (۱/۰۵ برابری) فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر گردید و نیز تفاوت معنی‌داری با خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری تیمار بقایای هرس و بدون ماده آلی داشت (شکل ۲-ب). تلقیح باکتریایی نقش چشمگیری در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری در مقایسه با تیمار بدون تلقیح داشت. بطوریکه تلقیح باکتری‌های PGPR در خاک ریزوسفری منجر به افزایش ۱/۰۸ برابری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در مقایسه با غیرریزوسفر شد (شکل ۳- ج).

افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی خاک در تیمارهای کمپوست و بقایای هرس افزوده شده نسبت به تیمار بدون ماده آلی را احتمالاً می‌توان به افزایش زیست‌توده میکروبی در پاسخ به ماده آلی افزوده شده، عناصر غذایی خاک و بهبود خصوصیات خاک (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) نظیر ظرفیت نگهداشت مواد غذایی و آب نسبت داد (کورتو و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین عملکرد بهتر کمپوست در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در مقایسه با بقایای هرس نشان‌دهنده سرعت تجزیه‌ای بالای کمپوست بقایای هرس و نیتروژن کافی در ترکیب آن است که موجب افزایش تحریک فعالیت میکروبی شده و نیز حضور مواد غذایی با قابلیت تجزیه آسان و نیتروژن کافی در ترکیب کمپوست، موجب افزایش فعالیت این آنزیم گردیده است (کورتو و همکاران، ۲۰۰۳). کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با افزودن بقایای هرس به خاک در مقایسه با کمپوست دور از انتظار نبود زیرا که بقایای هرس مصرفی با pH اسیدی (جدول۲) برای فعالیت این آنزیم مناسب نبود (عیوضی و طباطبایی، ۱۹۹۶). در حالیکه خاک مورد مطالعه و کمپوست بقایای هرس با pH قلیایی (جدول۲) مناسب برای فعالیت این آنزیم بود. رنللا و همکاران (۲۰۰۶) با افزودن پسماند گیاه چاودار به ۳ نوع خاک اسیدی، خنثی و قلیایی مشاهده کردند که فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک قلیایی تیمار شده با پسماند گیاهی تا ۱۵ برابر افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک ریزوسفری نسبت به غیرریزوسفر را می‌توان ناشی از فعالیت میکروبی و ریشه‌ای گیاه نسبت داد. بالا بودن مقدار فسفاتاز قلیایی در تیمار تلقیح باکتری‌های PGPR 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 pH > ۷ فعالیت بالاتری دارد (عیوضی و طباطبایی، ۱۹۹۶). بالیک و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه تاثیر کود آلی بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در ریزوسفر گیاهان با استفاده از رایزوباکس گزارش کردند که فعالیت آنزیم-های فسفاتاز بطور معنی‌داری نسبت به خاک غیریزوسفری افزایش یافت.

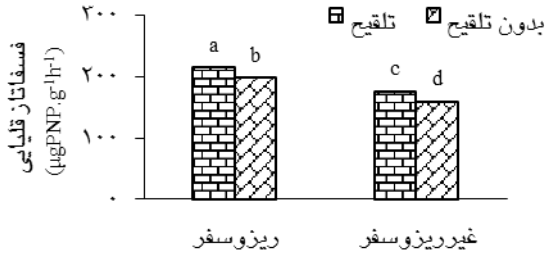
الف)



ب)



ج)



شکل۲- مقایسه میانگین اثر منابع آلی و تلقیح میکروبی (الف)، منابع آلی و خاک (ب) و تلقیح میکروبی و خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری (ج) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان این گونه بیان نمود که استفاده از منابع آلی، خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر و غیرریزوسفر را بطور چشمگیری تغییر می‌دهد. روش رایزوباکس از تکنیک‌های نوین در ارزیابی خاک ریزوسفری می‌باشد که به همراه تلقیح میکروبی در این شرایط بهتر توانست فرآیندهای میکروبی- ریزوسفری مرتبط با خصوصیات بیولوژیک خاک را توجیه نمایند. ویژگی‌های متفاوت مواد آلی و تلقیح میکروبی منجر به افزایش شاخص‌های بیولوژیک در منطقه ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفر گردید. به دنبال کاربرد مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها به سرعت رشد کرده و منجر به افزایش فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی همانند کربن آلی خاک، تنفس، کربن و فسفر زیست توده میکروبی، فعالیت آنزیم فسفاتاز در خاک ریزوسفری گردید. همچنین کاربرد بقایای هرس منجربه افزایش کسر متابولیک گردید. البته این شاخص نیز در خاک ریزوسفری کمتر از غیر ریزوسفر مشاهده گردید. در نتیجه چنین می‌توان بیان کرد که بهبود خصوصیات کیفی در خاک توسط کاربرد مواد آلی همانند کمپوست و تلقیح باکتری‌های PGPR موثر واقع گردید. لذا استفاده از مواد آلی اصلاحی یا کودهای آلی به ویژه کمپوست و استفاده از باکتری‌های PGPR یکی از مهمترین راه‌های تشدید فعالیت‌های بیولوژیکی و تنوع زیستی در خاک شده و منجر به افزایش کیفیت خاک‌های کشاورزی می‌گردد.

سپاسگزاری

بخشی از 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

Alef K and Nannipieri P, 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.

Alizadeh M, Chorom M and Enayatizamir N, 2015. Effect of plant residues on soil Microbial parameters and some growth characteristics of barley at different levels of soil salinity. Agricultural Engineering 38 (1): 14-28. (In Farsi).

Anderson JPE, 1982. Soil respiration. Pp. 831-872. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR. (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed, American Society of Agronomy, U.S.A.

Anderson TH and Domsch KH, 1990. Application of eco-physiological quotient (qCO2 and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biology and Biochemistry 22: 251–255.

Babalola OA, Adesodun JK, Olasantan FO and Adekunle AF, 2012. Responses of some soil biological, chemical and physical properties to short-term compost amendment. Plant Nutrition and Soil Science 7: 28-38.

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 Environmental Soil Science 53: 375–381.

Balota EL, Filho AC, Andrade DS and Dick RP, 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. Soil and Tillage Research 77:137–145.

Borken W, Muhs A and Beese F, 2002. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. Soil Biology and Biochemistry 34: 403–412.

Brookes PC, Powlson DS and Jenkinson DS, 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biology and Biochemistry 14:319-329.

Bunemann EK, Schwenke GD and Van Zwieten L, 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms, a paper rewiew. Soil Research 44:379-406.

Bustamante MA, Perez-Murcia MD, Paredes C, Moral R, Pe´rez-Espinosa A and Moreno-Caselles J, 2007. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. Bioresource Technology 98: 3269–3277.

Cakmakci R, Donmez MF and Erdogan U, 2007 .The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Agriculture and Forestry 31: 189-199.

Caravaca F, Figueroa D, Alguacil MM 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.

Chen CR, Condron LM, Davis MR and Sherlick RR, 2003. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. Forest Ecology and Management 177:35-43.

Dehghan Manshadi H, Bahmanyar MA, Lakzian A and Salek Gilani S, 2012. Effect application of sewage sludge and sewage sludge enriched with chemical fertilizer on the rate of organic carbon, respiration and enzyme activity of soil under basil cultivation. Journal of Water and Soil 26(3): 554-562. (In Farsi).

De Neergaard A and Magid J, 2001. Influence of the rhizosphere on microbial biomass and recently formed organic matter. European Journal of Soil Science 52: 377-384.

De Nobili M, Contin M, Mondini C and Brookes PC, 2001. Soil microbial biomass is triggered into activity by trace amounts of substrate. Soil Biolology and Biochemistry 33:1163–1170.

Diaz-Ravina M and Baath E, 1996. Development of metal tolerance in soil bacterial communities exposed to experimentally increase metal levels. Applied Environmtal Microbiology 62: 2970-2977.

Eghball B, Ginting D and Gilley JE, 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agronomy 96: 442- 447.

Eivazi F and Tabatabai MA, 1977. Phosphatase in soils. Soil Biology and Biochemistry 9: 167-172.

Fierer N, Schimel JP and Holden PA, 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. Soil Biology and Biochemistry 35: 167–176.

Helal HM and Sauerbeck DR, 1984. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. Plant and Soil 76: 175-182.

Herrick JE, 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management. Applied Soil Ecology 15: 75-83.

Hylander LD, 2002. Improvements of rhizoboxes used for studies of soil-root interactions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33: 155-161.

Islam KR and Weil R. 2000. Soil quality indicator properties-in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. Journal of Soil and Water Conservation 55: 169-178.

Jenkinson DS and Ladd JN, 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. Vol 5, Pp. 415–417. In: Powl EA and Ladd JN (eds) Soil Biochemistry. Marcel Dekker, New York, USA.

Jones DL, Hodge A and Kuzyakov Y, 2004. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. New Phytology 163: 459-480.

Jordan NR, Zhang J and Huerd S, 2000. Arbuscular-mycorrhizal fungi: potential roles in weed management. Weed Research 40:397-410.

Kaur G and Reddy MSH, 2014. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites. European Journal of Soil Biology 158: 163-168.

Kourtev PS, Ehrenfeld JG 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.

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.

Li H, Shao H, Li W, Bi R and Bai Z, 2012. Improving soil enzyme activities and related quality properties of reclaimed soil by applying weathered coal in opencast-mining areas of the Chinese Loess Plateau. Clean Soil Air Water 40:233–238.

Luo Y and Zhou X, 2006. Soil Respiration and the Environment. Academic press, San Diego, 328 p.

Marschner P, Solaiman ZM and Rengel Z, 2005. Growth phosphorus uptake and rhizosphere microbial community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. Soil Science and Plant Nutrition 168: 343-351.

Mkhabela MP, Mavundla TR and Sukati NA, 2008. Experiences of nurses working in Voluntary Counseling and Testing Services in Swaziland. Association Nurses Journal AIDS Care 19(6):470–479.

Mukerji KG, 2002. Rhizosphere biology. Pp. 87–101. In: Mukerji KG, Manoharachary C and Chamola BP (eds). Techniques in Mycorrhizal Studies. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Oliviera FC, Mattiazzo ME, Marciano CR and Rossetto R, 2002. Organic carbon, electrical conductivity, pH and CEC changes in a Dystrophic Yellow Latisol. Revista Brasileira de Ciência do Solo 2: 505-519.

Priya K and Garg VK, 2004. Dynamics of biological and chemical parameters during vermicomposting of solid textile mill sludge mixed with Cow dung and agricultural vesidues. Bioresource Technology 94: 203-209.

Redel Y, Escudey M, Alvear M, Conrad J and Borie F, 2011. Effects of tillage and crop rotation on chemical phosphorus forms and some related biological activities in a Chilean Ultisol. Soil Use Manage 27: 221–228.

Renella G, Landi L, Ascher MT, Ceccherini MT, 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.

Rorison IH, 1969. Ecological inferences from laboratory experiments on mineral nutrition. Pp. 155-175. In: Rorison IH (ed). Ecological Aspects of the Mineral nutrition of Plants. Blackwell, Oxford, United Kingdom.

Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT and Sumner ME, 1996. Methods of Soil Analysis. Chemical methods. Soil Science Society of America Book, Madison, Wiscons in, USA, 1390 p.

Tabatabai MA and Bremner JM, 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry 1: 301-307.

Tejada M, and Gonzalez JL, 2006. Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. European Journal of Agronomy 25: 22–29.

Toal ME, Yeomans C, Killham K and Meharg AA, 2000. A review of rhizosphere carbon flow modelling. Plant and Soil 222:263–281.

Waldrop MP, Zak DR., Sinsabaugh RL, Gallo M and Lauber C, 2004. Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymatic activity. Applied Ecology and Environmental Research 14(4): 1172-1177

Whalen JK, Chang CH and Olsen BM, 2001. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soil receiving repeated annul cattle manure applications. Biology and Fertility of Soils 34: 334-341.

Zaman M, Matsushima M, Chang S, Inubushi K, Nguyen L, Goto S, Kanek OF and Yoneyama T, 2004. Nitrogen mineralization, N2O production and soil microbiological prosperities as affected by long-term application of sewage sludge composts. Biology and Fertility of Soils 40: 101 – 109.