تأثیر تلفیقی کمپوست، بیوچار و تلقیح زیستی بر فعالیت آنزیمی و برخی شاخص‌های میکروبی خاک

نگار رضائی‌دانش، میرحسن رسولی صدقیانی[1]، ندا مرادی و محسن برین

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه؛ **Negarrdanesh@gmail.com**

استاد دانشگاه ارومیه؛ **m.rsadaghiani@urmia.ac.ir**

استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **n.moradi@scu.ac.ir**

استادیار دانشگاه ارومیه؛ **m.barin@urmia.ac.ir**

دریافت: **99/10/8** و پذیرش: **1400/3/19**

چکیده

کاربرد بیوچار و کمپوست به همراه تلقیح زیستی می‌تواند سبب بهبود خصوصیات میکروبیولوژیکی در خاک گردد. به منظور بررسی تأثیر تلفیقی کاربرد بیوچار، کمپوست بقایای هرس درختان سیب و تلقیح زیستی بر برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی خاک، آزمایشی گلدانی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور منابع آلی (شاهد (بدون منابع آلی)، بیوچار و کمپوست) و تلقیح زیستی (شاهد (بدون تلقیح زیستی)، باکتری‌های محرک رشد (*Pseudomonace fluorescens, Pseudomonace putida, Pseudomonace aeruginose*)، قارچ *میکوریز آربوسکولار (Glomus versiform, Glomus fasciculatum ,Glomus intraradices)* و قارچ *اندوفیت Priformosphora (indica)*) با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. در پایان دوره رشد گیاه ذرت (65 روز)، خصوصیاتی از جمله تنفس پایه (BR^2)، تنفس ناشی از سوبسترا (SIR^3)، کربن زیست توده میکروبی (MBC^4)، شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI^5)، آنزیم‌های فسفاتاز و اوره‌آز در خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزودن منابع آلی و تلقیح زیستی به خاک باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های بیولوژیکی نسبت به تیمارهای فاقد مواد آلی و تلقیح زیستی شدند. بیشترین میزان تنفس پایه، تنفس ناشی از سوبسترا و شاخص‌های CAI در تیمار کمپوست-باکتری محرک رشد مشاهده شد که به ترتیب 76/2، 33/3 و 77/4 درصد نسبت به تیمار شاهد (فاقد منابع آلی و تلقیح زیستی) افزایش یافتند. افزودن کمپوست و بیوچار سبب افزایش معنی‌داری در میزان کربن زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز نسبت به تیمار شاهد (فاقد منابع آلی) گردیدند. کاربرد همزمان تیمارهای آلی و زیستی نیز سبب افزایش فعالیت آنزیم-های فسفاتاز قلیایی و اسیدی نسبت به تیمار شاهد گردید. به طور کلی کاربرد مواد آلی و تلقیح زیستی باعث بهبود خواص بیولوژیکی خاک گردید.

واژه های کلیدی: باکتری محرک رشد گیاه، کربن زیست توده میکروبی، قارچ‌ها، منابع آلی

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

[2]. Bacterial respiration

[3]. Substrate-induced respiration

[4]. Microbial biomass carbon

[5]. Carbon availability index

مقدمه

حفظ سطح بهینه موادآلی در خاک با توجه به تأثیرات نامناسب تغییر اقلیمی جهانی بر باروری و سلامت خاک، برای حفظ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و همچنین محصولات کشاورزی و عملکرد زیست محیطی ضروری است (مورفی، 2015). وجود ماده آلی علاوه بر اینکه نشان دهنده سلامت و کیفیت خاک است، شاخص مناسبی برای باروری خاک به شمار می‌رود که حاصل برهم کنش فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی است (ماهاجان و همکاران، 2019). هریک (2000) بیان نمود که شاخص‌های میکروبیولوژیک خاک از جنبه‌های مهم کیفیت خاک هستند و به همین دلیل کیفیت خاک با استفاده از خواص مختلف میکروبیولوژیک نیز ارزیابی می‌شود. موجودات نقش مهمی در تجزیه و تخریب مواد آلی خاک و معدنی شدن آن دارند که با ادامه فرآیند معدنی‌شدن ترکیبات پایدارتر مواد آلی در خاک تجمع می‌یابند. در یک خاک فاقد و یا مقدار کم ماده آلی جمعیت به شدت کاهش یافته و جذب بسیاری از عناصر غذایی که قابلیت آنها برای گیاه وابسته به اکسیداسیون زیستی(بیولوژیکی) در خاک می‌باشد، مختل می‌شود (سینگ و همکاران، 2004). عدم مدیریت مصرف صحیح کودهای شیمیایی و کمبود ماده‌ی آلی در خاک یکی از مشکلات اصلی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک است که بر کیفیت و باروری خاک تأثیر می‌گذارند (ال-نگار و همکاران، 2019). بنابراین برای حل این مشکلات چندین راهکار اساسی مطرح شده است که می‌توان بکار بردن بیوچار را به عنوان یک اصلاح کننده آلی برای اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پیشنهاد کرد (لمان و همکاران، 2009).

تبدیل مواد آلی به بیوچار (زغال زیستی) از طریق فرآیند پیرولیز، یک روش مدیریتی برای طیف وسیعی از مواد زائد جامد است. بیوچار فرم پایدار زغال تولید شده طی فرآیند پیرولیز مواد آلی در دمای‌های مختلف تحت شرایط اکسیژن کم و یا بدون اکسیژن است (یو و همکاران، 2019). کاربرد بیوچار منجر به تغییر در ترکیب و فراوانی جامعه بیولوژیک خاک می‌شود. کارهو و همکاران (2011) گزارشاتی مبتنی بر تأثیر افزودن بیوچار بر افزایش فعالیت میکروبی خاک و در نتیجه تجزیه ماده آلی ذاتی در خاک‌های جنگلی نیز ارائه دادند. از مواد دیگری که باعث بهبود کیفیت و باروری خاک می‌شود می‌توان به کمپوست اشاره کرد. پسماندهای آلی مانند بقایای گیاهان تحت شرایط کنترل شده از طریق فرآیندهای تجزیه زیستی به کمپوست تبدیل می‌شوند (واینینک، 2002). مصرف کمپوست میزان مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد که این عامل باعث افزایش نگهداشت آب در خاک و همچنین افزایش تخلخل خاک شده و در نتیجه میزان مقاومت گیاه در اقلیم‌های گرم و خشک را افزایش می‌دهد. افزایش تخلخل آثار مثبتی بر اکسیژن قابل دسترس خاک و در نتیجه کاهش شرایط بی‌هوازی در خاک و بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تنفس ریشه‌ای دارد. ماریناری و همکاران (2000) بیان کردند که کمپوست‌ها دارای جمعیت بالایی از میکروارگانیسم‌ها هستند و از این رو با کاربرد کمپوست در خاک موجودات زنده به خاک اضافه می‌شوند. همچنین برخی از مطالعات نشان دادند که کاربرد تلفیقی بیوچار و کمپوست می‌تواند منجر به بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک شود (اسکوتی و همکاران، 2015؛ تروپیانو و همکاران، 2017).

در این میان استفاده از میکروارگانیسم‌های خاک و مخصوصاً باکتری‌ها که با انجام فرآیندهای مختلف زیستی در رشد گیاه و چرخه عناصر غذایی خاک دخالت دارند به‌طور روز افزونی افزایش یافته است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه جزء باکتری‌های همیار یا آزادزی در خاک می‌باشند که این باکتری‌ها اغلب در نزدیک یا حتی درون ریشه گیاهان یافت می‌شوند. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) از طرق مختلفی از جمله تثبیت زیستی نیتروژن، تولید

سیدروفورها، تولید هورمون‌های گیاهی، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش رشد گیاهان را بهبود می‌بخشند (ون‌لون، 2007). بعضی از موجودات زنده خاک قادر به تحریک و افزایش فعالیت‌های زیستی خاک بوده و فعالیت آنزیم‌ها را در خاک تشدید می‌کنند، قارچ-های میکوریز *آربوسکولار* از جمله این موجودات هستند. این قارچ‌ها توانایی تشکیل جوامع همزیست را با اغلب گونه‌های گیاهی داشته و به عنوان یک زادمایه زیستی، برای بهبود کیفیت خاک و در نتیجه افزایش محصولات کشاورزی، دارای اهمیت می‌باشند (میشرا، 2007). یکی دیگر از قارچ‌های همزیست با ریشه گیاهان قارچ *Piriformospora indica* می‌باشد که دارای ویژگی‌های مشابه با قارچ‌های میکوریزی است. قارچ‌های *اندوفیت* با تأثیر بر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک اثر قابل توجهی بر ویژگی‌های ریزوسفر و نیز رشد و عملکرد گیاه دارند (وارما و همکاران، 2012).

با توجه به قرارگیری ایران در منطقه خشک و نمیه خشک با مقدار کم موادآلی و نیز بالا بودن حجم پسماندهای کشاورزی، کاربرد منابع آلی از طریق تبدیل این پسماندها به بیوچار و کمپوست و نیز بهره‌گیری از جانداران خاکزی می‌توانند به رشد گیاه گیاه کمک کنند. همچنین باتوجه به اینکه اطلاعات محدودی در رابطه با تأثیر تلفیقی منابع آلی به ویژه بیوچار و جانداران خاکزی بر شاخص‌های میکروبیولوژیکی در خاک‌های آهکی در دست می‌باشد، لذا در این پژوهش به بررسی تأثیر تلفیقی کاربرد بیوچار، کمپوست و تلقیح زیستی بر برخی از ویژگی‌های میکروبیولوژیکی خاک کشت شده باذرت در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

انتخاب نمونه خاک

جهت اجرای آزمایش یک نمونه خاک مرکب از عمق 30-0 سانتی‌متر با مقدار ماده‌آلی پایین از محوطه دانشگاه ارومیه واقع در منطقه نازلو استان آذربایجان غربی تهیه گردید و پس از هواخشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در آن به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (اسپارکس و همکاران 1996).

تهیه و تعیین ویژگی‌های بیوچار و کمپوست هرس ضایعات سیب

برای تهیه بیوچار، بقایای هرس درختان سیب (شاخه‌های دو و سه ساله) از باغ‌های منطقه نازلو واقع در استان آذربایجان غربی شهرستان ارومیه جمع‌آوری گردید. سپس بعد از شست و شو و خرد شدن (بطور متوسط در اندازه دو سانتی‌متر)، در آون تحت دمای 65 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک برای تولید بیوچار در دمای 350 درجه سلسیوس به مدت چهار ساعت و نرخ افزایش دمای شش درجه سلسیوس در داخل کوره الکتریکی و شرایط بدون اکسیژن قرار گرفتند (کانترل و همکاران، 2012). کمپوست بقایای هرس نیز از گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه تهیه گردید. pH و EC بیوچار در عصاره-های صاف شده نسبت یک به 20 بیوچار به آب (سینگ و همکاران، 2017)، درصد خاکستر[1]، مقدار کربن و نیتروژن با دستگاه (Vario EL III) CHNS analyzers، فسفر کل به روش هضم با اسید و رنگ‌سنجی و پتاسیم از طریق هضم خشک به روش فلیم‌فتومتری اندازه‌گیری شدند (سینگ و همکاران، 2017). همچنین برخی ویژگی‌های کمپوست با روش‌های متداول اندازه‌گیری شدند. pH و EC کمپوست در عصاره‌های صاف شده نسبت یک به پنج کمپوست به آب، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر و پتاسیم به روش هضم خشک و کربن به روش اکسیداسیون تر (والکلی و بلک) تعیین شدند.

آزمایش گلخانه‌ای و اعمال تیمارها

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل منابع آلی (شاهد، کمپوست

1. ASTM D1762-84

بقایای هرس سیب و بیوچار بقایای هرس سیب) و تلقیح زیستی (شاهد، باکتری‌های محرک رشد، قارچ‌های میکوریزی و قارچ اندوفیت *P.indica*) بود. برای انجام آزمون گلخانه‌ای، خاک نمونه برداری شده بعد از هواخشک و عبور از الک دو میلی‌متری به رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) رسانده شده و داخل گلدان‌ها (ارتفاع 25سانتی‌متر و قطر 20سانتی‌متر) ریخته شد. بیوچار و کمپوست بقایای هرس سیب هرکدام برحسب 0/5 درصد کربن آلی خالص به خاک گلدان‌ها حاوی چهار کیلوگرم خاک اضافه و مخلوط شده و در داخل گلدان‌ها ریخته شد و به مدت یک هفته در شرایط گلخانه‌ای در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری شدند. در مرحله بعدی برای اعمال تیمارهای زیستی از محیط آگار مغذی (NB[1]) استفاده شد و مخلوط باکتری‌های محرک رشد (PGPR) از جنس سودوموناس‌های فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P.aerugonisa*، *P.fluorescens* و *P.putida*) موجود در بانک میکروارگانیسم‌های گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه به داخل ارلن حاوی محیط کشت استفاده شد و نیز قارچ-های میکوریزی (ترکیبی از *Glomus versiform, Glomus fasciculatum ,Glomus intraradices*) و قارچ اندوفیت *Primosfora indica* نیز داخل ارلن دیگر حاوی محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار (PDA[2]) اضافه شدند. برای نمونه‌های شاهد نیز از محیط کشت بدون میکروارگانیسم‌ها استفاده شد.

تیمارهای زیستی همزمان با کاشت به خاک اطراف بذرها اضافه شدند. تعداد شش بذر ذرت (*Zea Mays* L.) رقم KSC 704 پس از ضدعفونی سطحی با هیپوکلریت سدیم 0/5 درصد در مرکز خاک هر گلدان‌ها کشت گردیدند. پس از جوانه زدن بذرهای ذرت، چهار بوته سالم‌تر و قوی‌تر از هر گلدان نگه داشته شدند. در طول دوره رشد، آبیاری براساس کاهش وزن گلدان‌ها صورت گرفت (نگهداری رطوبت حدود 70 درصد ظرفیت مزرعه) و برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاهان از محلول غذایی هوگلند استفاده گردید. در پایان دوره پس از گذشت 65 روز عملیات برداشت انجام شده و برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی خاک اندازه‌گیری گردید. کربن زیست توده میکروبی به روش تدخین - استخراج ، از اختلاف مقادیر محاسبه شده برای نمونه‌های تدخین شده با کلروفرم به مدت 24 ساعت و تدخین نشده (جنکینسون و لاد، 1981)، تنفس پایه به روش (1982) به این صورت که خاک مرطوب در ظروف شیشه‌دار درب دار در کنار لوله آزمایش حاوی 10 میلی لیتر هیدروکسید سدیم یک نرمال در دمای 25 درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد از شش روز ارلن حاوی هیدروکسید سدیم با اسید کلریدریک 0/5 نرمال تیتر گردید و تنفس پایه بر حسب (mg CO_2-C g^{-1} day^{-1}) محاسبه گردید، تنفس ناشی از سوبسترا به این صورت که خاک مرطوب در ظروف شیشه‌دار درب دار ریخته شده و 1 میلی‌لیتر گلوکز یک درصد به عنوان سوبسترا به کدام از ظروف افزوده و لوله آزمایش حاوی 10 میلی لیتر هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال در دمای 25 درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد از شش ساعت ارلن حاوی هیدروکسید سدیم با اسید کلریدریک 0/1 نرمال تیتر گردید و تنفس پایه بر حسب (mg CO_2-C g^{-1} day^{-1}) محاسبه گردید (الف و نانپیری، 1995).

شاخص قابلیت دسترسی به کربن نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$CAI = \frac{BR}{SIR}$$

که در این رابطه CAI شاخص قابلیت دسترسی به کربن، BR تنفس میکروبی پایه (mg CO_2 -C g^{-1} day^{-1}) و SIR تنفس ناشی با سوبسترا (mg CO_2-C g^{-1} day^{-1}) است (چنگ و همکاران، 1993).

برای تعیین فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، خاک مرطوب بعد از افزودن اوره 0/2 مولار و بافر تریس (pH =9) به مدت دو ساعت در دمای 37 درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس محلول $KCl-Ag_2SO_4$ اضافه گردید و در نهایت مقدار آمونیوم آزاد شده با دستگاه

[1] Nutrient broth
[2] Potato Dextrose Agar

اسپکتروفتومتر در طول موج 660 نانومتر قرائت گردید. فعالیت آنزیم اوره‌آز بر حسب ($mg\ N\ g^{-1}\ soil\ 2h^{-1}$) محاسبه گردید (طباطبایی، 1982). فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی (طباطبایی و برمنر، 1969) نیز توسط افزودن بستره پارانیتروفنول فسفات (برای فسفاتاز اسیدی در pH =6/5 و فسفاتاز قلیایی در pH =11) و انکوباسیون به مدت یک ساعت در دمای 37 درجه سلسیوس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 410 نانومتر بر حسب ($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ soil\ h^{-1}$) تعیین گردیدند (طباطبایی و برمنز، 1969).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم افزار SPSS و رسم شکل‌ها با نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم رسی و آهکی بوده و از نظر ماده آلی متوسط بود. همچنین خاک مورد نظر دارای pH قلیایی و غیرشور بوده و از لحاظ عناصر غذایی هم در سطح پایینی قرار داشت (جدول 1).

جدول 1- برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	$CaCO_3$	OM	N	EC	pH	بافت خاک
mg kg^{-1}						%			dS m^{-1}		
10/2	1/38	0/20	9/70	187	9/80	16/5	1/04	0/10	0/83	8/30	لوم رسی

برخی ویژگی‌های بیوچار و کمپوست مورد استفاده در جدول 2 نشان داد، بیوچار و کمپوست تولید شده از ضایعات هرس درختان سیب دارای pH قلیایی بوده و هردو غیر شور بودند. میزان کربن موجود در بیوچار به مراتب بیشتر از کمپوست بود (چهار برابر). همچنین مقدار عنصر پتاسیم در بیوچار هم نسبتاً بالاتر از مقدار آن در کمپوست بود (تقریباً چهار برابر). اما مقدار عناصر نیتروژن (پنج برابر) و فسفر (دو برابر) در کمپوست بالاتر از بیوچار مشاهده شد.

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچار و کمپوست تولید شده از ضایعات هرس سیب

P mg kg^{-1}	C/N	خاکستر	K	N	C	EC dS m^{-1}	pH	
		%						
0/21	291	10/2	0/62	0/22	64/0	0/05	7/11	بیوچار
0/44	15/4	53/4	0/16	1/03	15/9	0/40	7/33	کمپوست

نتایج تجزیه واریانس تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر برخی ویژگی‌های میکروبیولوژیکی خاک در جدول 3 ارائه شده است. اثرات اصلی منابع آلی (بیوچار و کمپوست) و تلقیح زیستی بر تنفس خاک، تنفس ناشی از سوبسترا، کربن زیست توده میکروبی، شاخص دسترسی کربن خاک، فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل منابع آلی و تلقیح زیستی نیز بر تنفس ناشی از سوبسترا، شاخص دسترسی کربن و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی در سطح احتمال 1/0 درصد و تنفس پایه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل منابع آلی و تلقیح زیستی بر کربن زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم آوره‌آز معنی‌دار نبود که نشان دهنده عدم تأثیر متقابل تیمارها بود.

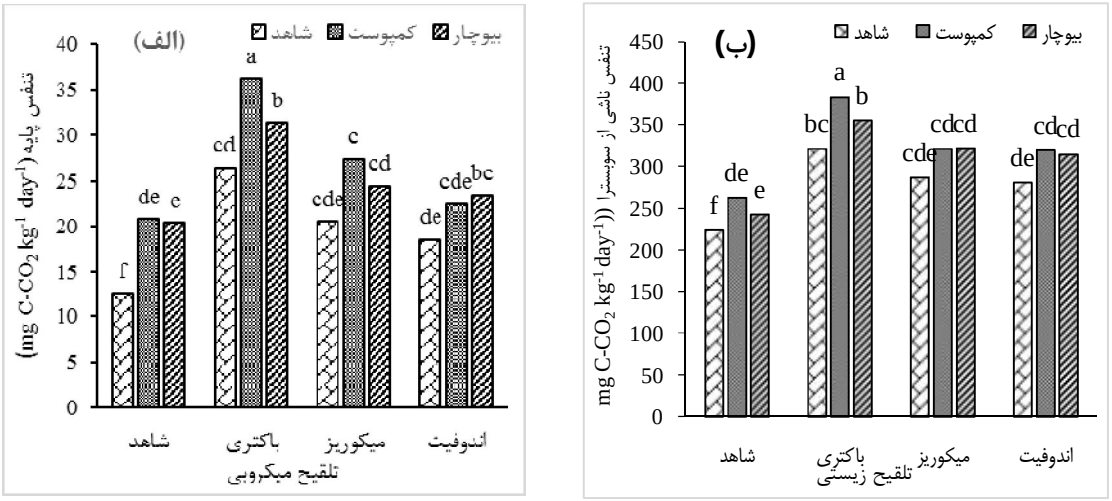
جدول 3- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آلی و زیستی بر ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و فعالیت آنزیمی خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		BR	SIR	MBC	CAI	اوره‌آز	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی
تیمار آلی	2	42/2**	2132**	64699***	0/0001**	54323***	54505***	54505***
زیستی	3	197***	7411***	29885***	0/001***	32555***	19666***	19666***
آلی^{x}زیستی	6	66/2**	2216***	7068^{ns}	0/0001***	410^{ns}	2335***	2335***
خطا	24	4/78	246	3250	0/0001	610	288	228
ضریب تغییرات	(%)	8/66	4/96	6/07	5/81	9/01	0/31	3/41

***، ** و ns : به ترتیب معنی‌داری در سطح 0/1 درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر تنفس پایه و تنفس ناشی از سوبسترا

مقایسه میانگین اثر متقابل تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر تنفس پایه و تنفس ناشی از سوبسترا نشان داد که با کاربرد کمپوست و بیوچار و همچنین تلقیح‌های میکروبی میزان تنفس پایه و تنفس ناشی از سوبسترا افزایش یافت (شکل 1). بیشترین میزان تنفس پایه و تنفس ناشی از سوبسترا در تیمار کمپوست-باکتری بود. به‌طوریکه میزان تنفس پایه و ناشی از سوبسترا در این تیمار به ترتیب 76/2 و 33/3 درصد افزایش را نسبت به تیمار شاهد (بدون منابع آلی و تلقیح زیستی) نشان دادند. کمترین میزان تنفس پایه و ناشی از سوبسترا هم در تیمار شاهد-شاهد مشاهده شد. به نظر می‌رسد این اختلاف در تیمارهای حاوی کمپوست و بیوچار به دلیل ساختار ساده کمپوست و تجزیه راحت و سریع آن در خاک باشد که در واقع یک منبع سرشار از کربن را به راحتی در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار داده و با بالا بردن فعالیت و جمعیت میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش میزان تنـفس پایه و ناشی از سوبسترا می‌شود. در حالیکه بیوچار ساختار پیچیده‌تر و نیمه عمر بالاتری در خاک داشته و در نتیجه دیرتر و سخت‌تر در خاک تجزیه شده و در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرد (لیو و همکاران، 2016). واحدی و همکاران (1398) بیان کردند که تیمار کمپوست به همراه تلقیح میکروبی با افزایش کربن آلی، میزان جمعیت میکروبی و فعالیت آن‌ها سبب افزایش تنفس پایه و تنفس ناشی با سوبسترا گردید. همانطور که نتایج نشان داد تیمار بیوچار نیز در مقایسه با شاهد سبب افزایش تنفس پایه و ناشی از سوبسترا گردید که این نتایج همسو با مطالعات قبلی است (مرادی و همکاران، 1398؛ روتیگلیانو و همکاران، 2014). روتیگلیانو و همکاران (2014) بیان کردند که مواد فرار و ترکیبات جذب سطحی شده بر سطح بیوچار ممکن است به عنوان سوبسترای قابل استفاده عمل کرده و سبب افزایش تنفس با کاربرد بیوچار گردد. نتایج حاکی از این بود که باکتری‌های تلقیح شده میزان تنفس را بیشتر از قارچ‌ها افزایش داده‌اند. زیرا قارچ‌ها دارای راندمان بیشتری در تبدیل کربن به توده‌ی زنده‌ی خود بوده و کمتر کربن را بصورت تنفس هدر می‌دهند (اسلام و ویل، 2000).



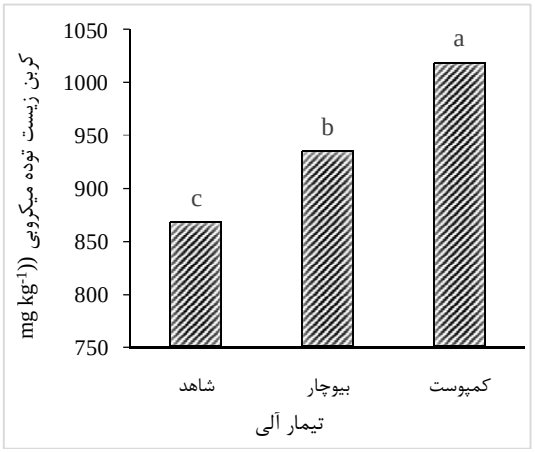
شکل 1- تأثیر تیمارهای آلی و زیستی بر میزان تنفس پایه (الف) و تنفس ناشی از سوبسترا (ب) در خاک

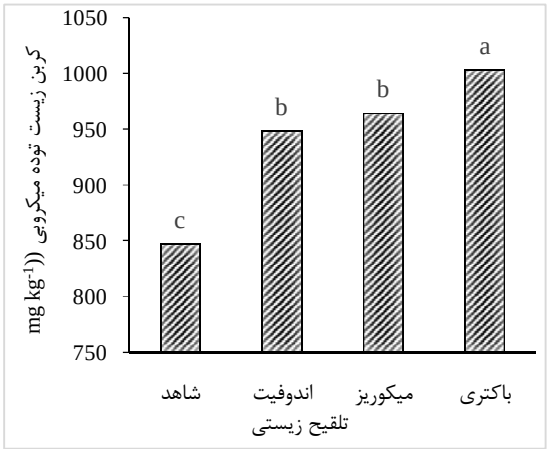
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) ندارند.

تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر کربن زیست توده میکروبی

نتایج نشان داد که مصرف مواد آلی (کمپوست و بیوچار) باعث افزایش معنی‌دار کربن زیست توده‌ی میکروبی نسبت به نمونه شاهد شد و این افزایش در نمونه حاوی کمپوست بیشتر از بیوچار بود، به‌طوری‌که میزان این شاخص در نمونه حاوی کمپوست 17/4 درصد و در نمونه حاوی بیوچار 7/84 درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشت (شکل 2). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که مصرف کمپوست زباله شهری به علت افزایش میزان کربن و نیتروژن و کربن آلی محلول در خاک نقش مثبتی در افزایش میزان کربن زیست توده‌ی میکروبی دارد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (زیمن و همکاران، 2004). افزایش کربن زیست توده میکروبی با کاربرد کمپوست و بیوچار به دلیل تأمین بستر مناسب برای میکروارگانیسم‌ها است که سبب افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک می‌گردد (فیرر و همکاران، 2003).

همچنین همانطور که در نتایج مشاهده شده علاوه بر کمپوست، بیوچار هم می‌تواند با فراهم کردن رطوبت، زیستگاه و کربن سبب افزایش فعالیت میکروبی در خاک گردد. ژائو و همکاران (2015) نیز گزارش کردند که خاک‌های تیمار شده با بیوچار در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش کربن زیست توده میکروبی گردیدند که افزایش آن را می‌تواند به دلیل حضور بخش‌های لبایل کربن با کاربرد بیوچار باشد (لو و همکاران، 2013). همچنین افزودن تلقیح زیستی به خاک نیز باعث افزایش معنی‌دار کربن زیست توده‌ی میکروبی نسبت به نمونه شاهد شد و این افزایش در نمونه حاوی باکتری‌های محرک رشد بیشتر از قارچ‌ها بود (شکل 2). مقدار کربن زیست توده میکروبی در تیمار باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در مقایسه با شاهد 19 درصد افزایش یافت. کربن زیست توده‌ی میکروبی قسمتی از کربن آلی خاک است که مربوط به کربن موجود در بدن و دیواره‌ی سلولی میکروارگانیسم‌های خاک به ویژه باکتری‌هاست.





شکل 2-تأثیر تیمارهای آلی و زیستی بر کربن زیست‌توده میکروبی

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) ندارند.

تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر شاخص دسترسی به کربن

شاخص دسترسی به کربن (CIA) برای پی بردن به درجه محدودیت سوبسترا به ویژه در خاک‌های تحت کشت بسیار مفید است. نتایج مقایسه میانگین تأثیر اثر متقابل منابع آلی و تلقیح زیستی بر شاخص دسترسی به کربن در جدول 4 نشان داده شده است. بیشترین مقدار شاخص دسترسی به کربن در تیمار کمپوست-باکتری مشاهده شد و کمترین مقدار این شاخص در تیمار شاهد-شاهد بود. مقدار شاخص دسترسی به کربن در تیمارهای کمپوست-باکتری محرک رشد و بیوچار-باکتری محرک رشد در مقایسه با تیمار شاهد-شاهد به ترتیب 77/4 و 66/0 درصد افزایش یافت. این افزایش در تیمارهای حاوی کمپوست تا حدی بیشتر از بیوچار بود که انتظار می‌رود به خاطر ساختار ساده کمپوست و تجزیه راحت و سریع آن در خاک باشد که در واقع یک منبع سرشار از کربن را به راحتی در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار داده و با بالا بردن فعالیت و جمعیت میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش میزان شاخص دسترسی به کربن می‌شود. محمدیان و ملکوتی (1381) نیز بیان کردند که کاربرد کمپوست باگاس نیشکر سبب افزایش مقدار کربن آلی خاک گردید که در نتیجه سبب افزایش قابلیت دسترسی به کربن کمپوست می‌شود. همچنین افزودن تیمارهای زیستی به ویژه باکتری‌های محرک رشد نیز باعث افزایش معنی‌دار شاخص دسترسی به کربن نسبت به نمونه شاهد شد. کمتر بودن قابلیت دسترسی در تیمارهای قارچی در مقایسه با باکتری-های محرک رشد می‌تواند به تولید ساختار کیتین توسط قارچ باشد که می‌تواند در شاخص قابلیت دسترسی کربن تأثیرگذار باشد (زلقی و همکاران، 1398). در واقع چنین به نظر می‌رسد که با افزودن تیمارهای زیستی به خاک منابع کربن از جمله بیوچار و کمپوست با سرعت بیشتری توسط میکروارگانیسم-های خاک تجزیه و مصرف شده و طی فرآیند معدنی شدن کربن، دی اکسید کربن تولید می‌شود.

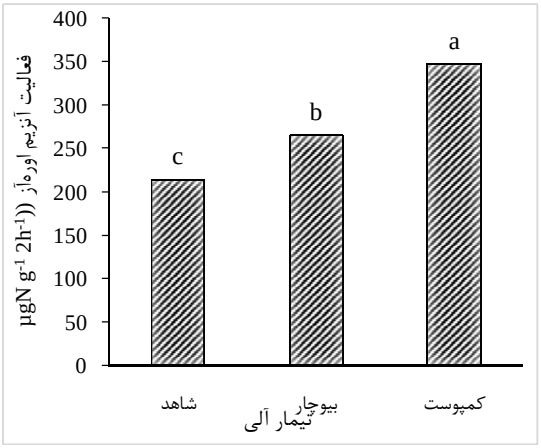
جدول 4- نتایج مقایسه میانگین تأثیر نوع تیمار آلی و زیستی بر شاخص دسترسی به کربن

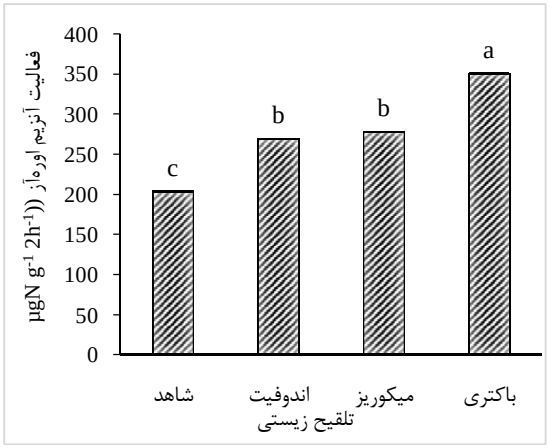
تیمار آلی	تیمار زیستی	CAI
شاهد	شاهد	0/053^{e}
	باکتری‌های محرک رشد	0/082^{bc}
	قارچ میکوریزی	0/071^{d}
	قارچ اندوفیتی	0/067de
کمپوست	شاهد	0/078^{cd}
	باکتری‌های محرک رشد	0/094^{a}
	قارچ میکوریزی	0/085^{bc}
	قارچ اندوفیتی	0/070^{d}
بیوچار	شاهد	0/084^{bc}
	باکتری‌های محرک رشد	0/088^{b}
	قارچ میکوریزی	0/077^{cd}
	قارچ اندوفیتی	0/075^{cd}

اعدادی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر فعالیت آنزیم اوره‌آز

بر اساس نتایج شکل 3، افزودن کمپوست و بیوچار سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم اوره‌آز در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند. بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم‌از به ترتیب در تیمار کمپوست و شاهد مشاهده گردید که تیمار کمپوست نسبت به تیمار شاهد 62/6 درصد فعالیت آنزیم اوره‌از را افزایش داد. تیمار بیوچار نیز سبب 23/4 درصد افزایش فعالیت این آنزیم نسبت به تیمار شاهد گردید. تلقیح زیستی نیز باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک نسبت به نمونه شاهد شد (0/05 ≥P). در این بین باکتری‌های محرک رشد (PGPR) بیشترین تأثیر را در افزایش فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز داشت. افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش زیست توده میکروبی، منابع کربن و عناصر غذایی و بهبود شرایط خاک نظیر افزایش نگهداشت آب در خاک و افزایش تخلخل شده و در نهایت میزان فعالیت آنزیم‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش فعالیت باکتری‌ها و در نتیجه بهبود و افزایش فعالیت آنزیمی می‌شود زیرا آنزیم‌های همراه مواد آلی به روش کاهش انرژی برای فعالیت باکتری‌های خاک به منظور سنتز آنزیم‌ها منجر به افزایش فعالیت آن‌ها و سرعت تجزیه ماده آلی (بیوچار و کمپوست) در خاک شده و همچنین با تجزیه نسبی در خاک با جذب سطحی و حبس فیزیکی آنزیم‌ها سبب حفاظت از آن‌ها در برابر هیدرولیز آنزیمی می‌شوند (کورتف و همکاران، 2002). علت بالا بودن آنزیم اوره‌آز در نمونه حاوی کمپوست نسبت به نمونه حاوی بیوچار هم می‌تواند به این دلیل باشد که کمپوست ساختمان ساده‌تری نسبت به بیوچار داشته و راحت‌تر تجزیه شده و وارد خاک می‌شود و در اختیار میکروارگانیسم‌های خاک قرار گرفته و با افزایش فعالیت این میکروارگانیسم‌ها فعالیت آنزیمی هم در خاک بیشتر می‌شود. احمدپور و همکاران (1390) نیز گزارش کردند که با ورود کربن آلی ناشی از مصرف کمپوست در خاک، میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز به شدت افزایش یافته است.





شکل 3- تأثیر تیمارهای آلی و زیستی بر فعالیت آنزیم اوره‌آز

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) ندارند.

تأثیر منابع آلی و تلقیح زیستی بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی

نتایج تأثیر تلفیقی منابع آلی و تلقیح زیستی بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی نشان داد که کاربرد منابع آلی و میکروبی سبب افزایش فعالیت آنزیم-های فسفاتاز اسیدی و قلیایی گردید (جدول 5). بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی در تیمار کمپوست-باکتری‌های محرک رشد مشاهده شد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تلقیح میکوریزی و اندوفیتی نداشت. فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در تیمار کمپوست و باکتری در مقایسه با تیمار کمپوست-شاهد به ترتیب 47/6 و 29/1 درصد افزایش یافتند. کمترین میزان فعالیت این آنزیم‌ها نیز در تیمار شاهد (بدون منبع آلی و میکروبی) مشاهده شد. فرقانی (1382) گزارش کرد که افزودن مواد آلی و کودهای بیولوژیک نظیر کمپوست به خاک سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز قلیایی گردیده است که دلیل این امر، افزایش سوبسترای موردنیاز این آنزیم‌ها بود. همچنین فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی در تیمار بیوچار-شاهد در مقایسه با تیمار شاهد-شاهد به ترتیب 40/3 و 81/5 درصد افزایش یافتند. طلوعی داراب (1395) با بررسی فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتازهای اسیدی و قلیایی در خاک و بیوچار در کشت گلدانی ذرت تحت تنش کم آبی، نشان داد فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی در خاک‌های تیمار شده با بیوچار نسبت به خاک‌های بدون بیوچار افزایش نشان داد. میکروارگانیسم-ها از طریق معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفات‌های رسوب یافته، فراهم سازی فسفر برای گیاهان را افزایش می‌دهند (چن و همکاران، 2006). باکتری‌ها در مقایسه با قارچ‌ها در انحلال فسفات بسیار مؤثرترند و جمعیت بالایی را به خود اختصاص می‌دهند (الام و همکاران، 2002). بر اساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی بیشتر از فسفاتاز اسیدی در خاک افزایش یافته است که این مسأله با توجه به pH قلیایی خاک مورد آزمایش (جدول 1) قابل پیش‌بینی بود.

جدول 5- نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آلی و زیستی بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی

تیمار آلی	تیمار زیستی	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی
		($\mu g\ PNP\ g^{-1}\ h^{-1}$)	
شاهد	باکتری های محرک رشد	228bc	396de
	قارچ میکوریزی	198de	377e
	قارچ اندوفیتی	193de	367e
	شاهد	102f	283f
کمپوست	باکتری های محرک رشد	344a	555a
	قارچ میکوریزی	329a	540a
	قارچ اندوفیتی	319a	530a
	شاهد	233bc	430bc
بیوچار	باکتری های محرک رشد	241b	444b
	قارچ میکوریزی	216cd	410bcd
	قارچ اندوفیتی	213cde	408bcd
	شاهد	185e	397de

اعدادی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش بر تأثیر مثبت و معنی‌دار کاربرد همزمان مواد آلی (کمپوست و بیوچار حاصل از بقایای هرس درختان سیب) و تلقیح زیستی بر ویژگی‌های کیفی شاخص‌های میکروبیولوژیکی خاک دلالت دارد. البته واضح است که تأثیر انواع میکروارگانیسم‌ها و مواد آلی بکار برده شده و اثرات متقابل آن‌ها بر روی شاخص‌ها و در نتیجه کیفیت خاک و محصول یکسان نبود. گونه‌های باکتریایی استفاده شده در تحقیق حاضر (باکتری‌های محرک رشد) در بهبود خواص میکروبیولوژیکی خاک بسیار کاراتر از گونه‌های قارچی (قارچ‌های میکوریز و اندوفیت *P.indica*) بوده‌اند. بطور کلی تیمار کمپوست- باکتری محرک رشد نسبت به تیمارهای دیگر بیشترین تأثیر را بر بهبود فعالیت آنزیمی و شاخص‌های میکروبی خاک داشت. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش فعالیت-های میکروبیولوژیکی خاک با استفاده تلفیقی منابع آلی و تلقیح زیستی در خاک بود. با توجه به حجم بالای پسماندهای کشاورزی به خصوص بقایای هرس درختان سیب در استان آذربایجان غربی، تبدیل آنها به کمپوست و بیوچار می‌تواند سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک‌زی و در نتیجه افزایش کیفیت پارامترهای میکروبیولوژیکی و نهایتاً موجب بهبود کیفیت خاک گردد. لذا با توجه به اهمیت مواد آلی و میکروارگانیسم‌ها در خاک و استفاده از آن‌ها به عنوان راه‌حلی مفید و اقتصادی در جهت بهبود کیفیت خاک و در نتیجه تولید بیشتر محصول توصیه می‌گردد آزمایشات مشابهی با انواع میکروارگانیسم‌های دیگر و تحت تنش‌های مختلف در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای انجام شود.

فهرست منابع:

1. احمدپور، س.ر.، بهمنیار، م.ع.، سالک گیلانی س. و فرقانی، ا. 1390. ارزیابی میزان فعالیت آنزیم های اوره آز و فسفاتاز قلیایی و تغییر بعضی خصوصیات شیمیایی در خاک تیمار شده با کمپوست و ورمی کمپوست تحت کشت ذرت. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد 25، صفحات 113 تا 123.

2. زلقی، ر.، لیموچی، س. و قزلباش، غ.ر. 1398. مطالعه تجزیه باگاس نیشکر توسط قارچ فانروکیت کریزسپوریوم و تأثیر آن بر برخی ویژگی‌های خاک. جمعیت علمی فن‌آوری نیشکر ایران. دوره 45. صفحات 45 تا 51.
3. طلوعی‌داراب، ع. (1395). فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتازهای اسیدی و قلیایی در خاک و بیوچار در کشت گلدانی ذرت تحت تنش کم آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، 87 صفحه.
4. مرادی، ن.، رسولی صدقیانی، م.ح. و سپهر، ا. 1398. تاثیر بیوچارهای تولید شده از بقایای گیاهی (هرس درختان و کاه و کلش) بر برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی در خاکهای آهکی. تحقیقات آب و خاک ایران. دوره 50. شماره 6. صفحات 1381تا 1394.
5. واحدی، ر.، رسولی صدقیانی، م.ح. و برین، م. 1398. ارزیابی خصوصیات کیفی خاک آهکی تیمار شده با بیوچار و کمپوست در حضور باکتریهای محرک رشد گیاه. تحقیقات آب و خاک ایران. جلد 50. صفحات 259 تا 272.
6. Alam, S., Khalil, S., Ayub, N. and Rashid, M. 2002. In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 4:454-458.
7. Alef, K. and Nannipieri, P. 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.
8. Anderson, J.P.E. 1982. Soil Respiration. p. 831-872. In: Page, A.L. et al. (eds) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. American Society of Agronomy, U.S.A.
9. Cantrell, K.B., Hunt, P.G., Uchimiya, M., Novak, J.M. and Ro, K.S. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. Bioresource technology 107:419-428.
10. Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arunshen, A.B., Lai, W.A. and Young, C.C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology 34:33-41.
11. Cheng, W., Coleman, D.C., Carroll C.R. and Hoffman, C.A. 1993. In situ measurements of root respiration and soluble carbon concentrations in the rhizosphere. Soil Biology & Biochemistry 25:1189-1196.
12. El-Naggar, A., Lee, S.S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A.K., immerman, A.R., Ahmad, M., Shaheen S.M. and Ok, Y.S. 2019. Biochar application to low fertility soils: a review of current status, and future prospects. Geoderma 337:536-554.
13. Fierer, N. Schimel, J.P. and Holden, P.A. 2003. Variations in microbial community composition
through two soil depth profiles. Soil Biology and Biochemistry 35:167–176.
14. Herrick, J.E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management. Applied Soil Ecology 15:75-83.
15. Islam, K.R. and Weil, R.R. 2000. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. Journal of Soil and Water Conservation 55: 69-78.
16. Jenkinson, D.S. and Ladd, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. p. 415-417. In: Powl, E.A. and Ladd, J.N. (eds.) Soil biochemistry. Dekker, New York.
17. Karhu, K., Tuomas, M.و Irina, B. and Kristiina, R. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity–Results from a short–term pilot field study. Agriculture, Ecosystems & Environment 140:309–313.
18. Lehmann, J. and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management, Earthscan publishing, London.

19. Liu, X. Zheng, J. Zhang, D. Cheng, K. Zhou, H. Zhang, A. Li, L. Joseph, S. Smith, P. Crowley, D. Kuzyakov, Y. and Pan, G. 2016. Biochar has no effect on soil respiration across Chinese agricultural soils. Science of the Total Environment 554:259–265.
20. Luo, Y., Durenkamp, M., De Nobili, M., Lin, Q., Devonshire, B.J. and Brookes, P.C. 2013. Microbial biomass growth, following incorporation of biochars produced at 350 ° C or 700 ° C, in a silty-clay loam soil of high and low pH. Soil Biology and Biochemistry 57:513-523.
21. Mahajan, N.C., Mrunalini, K., Krishna Prasad, K.S., Naresh, R.K. and Sirisha, L. 2019. Soil Quality Indicators, Building Soil Organic Matter and Microbial Derived Inputs to Soil Organic Matter under Conservation Agriculture Ecosystem: A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(2):1859-1879.
22. Marinari, S., Masciandaro, G., Cecanti, B. and Grego, S. 2000. Influnce of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology 72: 9–17.
23. Mishra, R.R. 2007. Soil Microbiology, Published by CBS Publishers & Distributors Pvt. Ltd, 2000.
24. Murphy, B. 2015. Key soil functional properties affected by soil organic matter - evidence from published literature. IOP Conference Series Earth and Environmental Science 25:012008.
25. Rutigliano, F.A., Romano, M., Marzaioli, R., Baglivo, I., Baronti, S., Miglietta, F. and Castaldi, S. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. European Journal of Soil Biology 60: 9-15.
26. Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A. and Rao, M.A. 2015. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 15:333–352.
27. Singh, B., Camps-Arbestain, M. and Lehmann, J. 2017. Biochar: A Guide to Analytical Methods. Csiro Publishing. 320p.
28. Singh, Y., Singh, B., Ladha, J.K., Khind, C.S., Gupta, R.K., Meelu, O.P. and Pasuquin, E. 2004. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in the rice-wheat. Soil Science Society of American Journal 68:84665853.
29. Sparks, D.L. Page, A.L. Helmke, P.A. Loeppert, R.H. Soltanpour, P.N. Tabatabai, M.A. Johnston, C.T. and Sumner, M.E. 1996. Methods of soil analysis Part 3-Chemical methods. Soil Science Society of America Book Ser. 5, Madison, Wiscons in, USA, p. 1390.
30. Tabatabai, M. 1982. Soil enzymes1. Methods of Soil Analysis. Part 2. PP. 903-947, Chemical and Microbiological Properties, Madison.
31. Tabatabai, M.A. and Bremner, J.M. 1969. Use of pnitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemestry 1:301-307.
32. Trupiano, D., Cocozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F.P., Lustrato, G., Di Lonardo, S, Fantasma, F., Tognetti, R. and Scippa, G.S. 2017. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. International Journal of Agronomy 2017:3158207. https://doi. org/10.1155/2017/3158207
33. Van Loon, L.C. 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. European Journal of Plant Pathology 119:243–254.
34. Varma, A., Bakshi, M. Lou, B. Hartmann, A. and Oelmueller, R. 2012. *Piriformospora indica*: A novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. Journal of Agricultural Research 1: 117-131.

35. Vining, A. M. 2002. Bench scale compost reactors system and self-heading capabilities, MS, C. Thesis, Dept of civil and Enviromental Engineering, Texas A and M university. USA.
36. Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X. and Gao, B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. Journal of Environmental Management 232:8-21.
37. Zaman, M. Matsushima, M. Chang, S. Inubushi, K. Nguyen, L. Goto, S. Kanek, O.F. and Yoneyama, T. 2004. Nitrogen mineralization, N_2O production and soil microbiological prosperities as affected by long-term application of sewage sludge composts. Biology and Fertility of Soils 40:101-109.
38. Zhao, R., Coles, N. and Wu, J. 2015. Carbon mineralization following additions of fresh and aged biochar to an infertile soil. Catena 125:183– 189.

The effect of compost, biochar and bio-inoculant on enzymatic activity and some soil microbial indices

N. Rezaee Danesh, M. Rasouli-Sadaghiani[1], N. Moradi, and M. Barin
Former MS student of Urmia University; E-mail: Negarrdanesh@gmail.com
Professor, Urmia University; E-mail: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir
Assistant professor, Shahid Chamran University of Ahvaz; E-mail: n.moradi@scu.ac.ir
Assistant professor, Urmia University; E-mail: m.barin@urmia.ac.ir
Received: December, 2020 & Accepted: june, 2021

Abstract

Application of biochar and compost with bio-inoculants can improve the microbiological properties of the soil. In order to investigate the effect of *apple pruning* wastes biochar, compost application and bio-inoculants on some biological properties of soil, a pot experiment was performed as a factorial in a completely randomized design with 2 factors: (1) organic resources (control (without organic resources), biochar and compost) and (2) bio-inoculants (control (without bio-inoculants), plant growth-promoting bacteria (*Pseudomonace fluorescens*, *Stenotrophomonas putida*, *Pseudomonace aeruginose*), *arbuscular mycorrhizal* fungus (*Glomus versiform*, *Glomus fasciculatum* ,*Glomus intraradices*) and *endophytic* fungus (*Priformosphora indica*) under greenhouse conditions with three replications. At the end of the corn growth period (65 days), some microbiological properties such as bacterial respiration (BR), substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), microbial population, carbon availability index (CAI), phosphatase and urease enzymes activity were measured in soil. The results showed that the addition of organic resources and microbial inoculation to the soil caused a significant increase in biological parameters compared to treatments without organic matter and microbial inoculation. The highest levels of BR, SIR, CAI and microbial population were observed in compost- plant growth-promoting bacteria treatments, which increased by 76.2, 33.3, 77.4 and 85.8%, respectively, compared to the control treatment (without organic matter and bio-inoculants). Addition of compost and biochar significantly increased the MBC and the urease activity compared to the control treatment (no organic resources). Simultaneous application of organic and biological treatments also increased the activity of acid and alkaline phosphatase compared to the control treatment. Generally, the application of organic matter and microbial inoculation improves the soil biological properties.

Keywords: Fungus, Microbial biomass carbon, Organic matter, plant growth-promoting bacteria

[1]. Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agricultural, University, Urmia University, Urmia.