تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴ (ص ۸۱۲-۸۰۱)

برخی آثار کمپوست قارچ مصرفی و بیوچار باگاس بر فعالیت فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند خاک آهکی

ارژنگ فتحی گردلیدانی [۱]، حسین میرسید حسینی [۲*]، محسن فرحبخش [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۴)

چکیده

کمبود فسفر یکی از مشکلات اصلی کشاورزی در خاک‌های آهکی است. به منظور بررسی اثر کمپوست قارچ مصرفی (SMC) و بیوچار باگاس نیشکر (B) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در سه خاک لوم، لوم رسی و لوم شنی مطالعهٔ انکوبه‌کردن انجام گرفت. تیمارها شامل سطوح بیوچار B1 و B2 (۱۵و۳۰ تن در هکتار)، سطوح کمپوست SMC1، SMC2 (۲۰و۴۰ تن در هکتار) و شاهد (C) بود. بعد از اعمال تیمارها در زمان‌های ۱۴ (T_1)، ۶۰ (T_2) و ۱۲۰ (T_3) روز فسفر قابل‌جذب و pH و در زمان T_3 فعالیت فسفاتاز قلیایی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد SMC در هرسه خاک سبب افزایش فعالیت فسفاتاز در خاک می‌شود، ولی بیوچار در خاک لوم شنی بی‌تأثیر بود. میانگین فعالیت فسفاتاز تیمار شاهد در سه بافت لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۲۰۹۰، ۲۹۳۱ و ۲۸۸۸ $\mu g\ PNP.g^{-1}Soil.\ h^{-1}$ بود که برای تیمار SMC2 به ترتیب به ۳۰۳۴، ۳۷۰۹ و ۳۵۳۳ $\mu g\ PNP.g^{-1}Soil.\ h^{-1}$ افزایش پیدا کرد. همچنین، هر دو سطح SMC سبب افزایش فراهمی فسفر شد، در حالی که مصرف بیوچار اثر کمتری داشت. SMC2 بهترین اثر را در افزایش فراهمی فسفر داشت، به طوری که میانگین فسفر قابل‌جذب در سه بافت لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب از ۱۹/۴، ۸/۸ و ۳/۹ $mg.Kg^{-1}$ در تیمار شاهد به ۳۷، ۲۸ و ۲۲ $mg.Kg^{-1}$ در تیمار SMC2 افزایش یافت. کمپوست قارچ pH خاک‌ها را کاهش و بیوچار را افزایش داد. نتایج نشان داد که کاربرد SMC در خاک‌های آهکی مورد آزمایش، سبب افزایش فراهمی فسفر و بهبود سایر خصوصیات از جمله pH شده است.

کلیدواژگان: بیوچار، فراهمی فسفر، فسفاتاز قلیایی، کمپوست قارچ.

مقدمه

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، به علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، حاوی مادهٔ آلی کمی است. این خاک‌ها اغلب آهکی و دارای واکنش قلیایی است. در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیهٔ عناصر پرمصرف (به‌ویژه فسفر) و کم‌مصرف روبه‌رویند. از جمله روش‌های افزایش مقدار قابل‌جذب این عناصر استفاده از مواد آلی است (Karami *et al.*, 2009). تحقیقات نشان داده که افزودن مواد آلی به خاک، بسته به خصوصیات انواع این مواد که آن‌ها را از هم بسیار متفاوت می‌کند، بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از جمله ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، فعالیت آنزیمی، وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت نگهداری آب آثار متفاوتی می‌گذارد که در بیشتر موارد با بهینه‌کردن این شرایط، امکان لازم برای تولید محصولات با عملکرد بالا از نظر کیفی و کمّی را فراهم می‌آورد (Barahimi *et al.*, 2009). اجزای مادهٔ آلی اضافه‌شده به خاک با فسفر برای مکان‌های جذب رقابت می‌کند. در نتیجه فراهمی فسفر در خاک را افزایش می‌دهد (Iyamuremye and Dick, 1996). اعتقاد بر این است که رقابت اسیدهای آلی از جمله مالیک و استیک با فسفر برای مکان‌های جذب در آزادسازی فسفر به محلول خاک نقش مهمی دارد (Hue, 1991).

باگاس نیشکر مواد پسماندهٔ نیشکر بعد از استخراج عصارهٔ آن است. مانند بسیاری از بقایای کشاورزی، باگاس زیست‌توده‌ای غنی از کربن، بسیار فراوان و مناسب برای تولید بیوچار[1] است (Inyang *et al.*, 2010). بر اساس گزارش شرکت توسعهٔ نیشکر و صنایع جانبی در سال ۱۳۹۰ بیش از ۱ میلیون

* نویسنده مسئول: mirseyed@ut.ac.ir

1. Biochar

Archive of SID
www.SID.ir

و ۲۰۰ هزار تن باگاس نیشکر در کشور تولید می‌شود که بخش زیادی از آن سوزانده یا انبار می‌شود. باگاس انبارشده ارزش اقتصادی کمی دارد و به سبب خطر خوداشتعالی، مشکلی محیط‌زیستی برای کارخانه‌های تولید شکر و مناطق اطراف آن است، به‌خصوص اگر برای مدت طولانی به صورت کپه انبار شود (Dawson *et al.*, 1990). یکی از راه‌های کاهش خطرات احتراق و مشکلات محیط‌زیستی ناشی از آن، سوزاندن باگاس در شرایط بی‌هوازی و کم‌هوازی و تبدیل آن به ماده‌ای بسیار پایدار و غنی از کربن به نام بیوچار است. بیوچار را می‌توان از هر زیست‌توده‌ای از جمله پسماندهای صنعتی (باگاس)، زراعی، جنگلی و خانگی و کودهای حیوانی تهیه کرد. مواد اولیه تحت فرایندی به نام گرماکافت (Pyrolysis) یا تجزیهٔ حرارتی-شیمیایی که نتیجهٔ آن بازآرایی در مولکول زیست‌توده است، تبدیل به بیوچار سیاه‌رنگ می‌شود. دما، مدت زمان نگهداری ماده در درجهٔ حرارت معین و میزان حرارت مستقیم بر خصوصیات شیمیایی بیوچار تأثیر دارد. افزودن بیوچار به خاک خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، از جمله ساختمان خاک، فراهمی عناصر غذایی و آب، همچنین نگهداشت عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد (Glaser *et al.*, 2002).

تولیدکنندگان قارچ کمپوست را به‌عنوان بستر کشت برای تولید قارچ استفاده می‌کنند. حدود ۵ کیلوگرم از این بسترهای پسماند برای هر کیلوگرم قارچ تولید می‌شود (Williams *et al.*, 2001)، با توجه به اینکه در سال ۱۳۹۱ تولید قارچ در ایران حدود ۹۰ هزار تن بوده (FAO, 2012) به ازای آن تقریبا ۴۵۰ هزار تن کمپوست قارچ نیز تولید شده است. حاصلخیزی این کمپوست بعد از برداشت قارچ کاهش می‌یابد که در اصطلاح به آن کمپوست قارچ مصرف‌شده[1] (SMC) می‌گویند. به‌طور معمول، این بستر مصرف‌شده ضایعات دورریز است، ولی می‌توان از آن در موارد مختلف از جمله، کشاورزی، باغبانی و فضای سبز استفاده کرد (Vahabi Mashak *et al.*, 2008). کمپوست قارچ مصرفی (SMC) حاوی مواد مغذی گیاهی باارزش و مادهٔ آلی است که حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشد. SMC مواد مغذی گیاهی را برای محصولات فراهم می‌کند و در نتیجه جایگزین کود معدنی می‌شود. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که SMC منبع عالی از فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف است (Cabilovski *et al.*, 2014).

آنزیم‌ها تجزیهٔ مادهٔ آلی را کاتالیز می‌کند. فعالیت‌های آنزیمی خاک مرتبط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک است (Kızılkaya *et al.*, 2004). فسفاتازها از آنزیم‌های برون‌سلولی کلیدی در چرخهٔ فسفر خاک‌ها و شاخصی خوب برای توان معدنی‌شدن فسفر آلی و فعالیت بیولوژیکی خاک است (Dick and Tabatabai, 1992). در بین این آنزیم‌ها فسفومنواسترازها به دلیل نقش مؤثر در معدنی‌کردن فسفر آلی خاک، مورد توجه و مطالعهٔ بیشتری قرار گرفته است (Tabatabai, 1982). فسفومنواسترازها شامل فسفاتازهای اسیدی و فسفاتازهای قلیایی است. علت نامگذاری، pH اپتیمم فعالیت این آنزیم‌هاست که به‌ترتیب در محدودهٔ pH اسیدی و pH قلیایی قرار دارد. میکروارگانیسم‌های خاک و ریشهٔ گیاهان منشأ اصلی تولید فسفاتازهاست. چون گیاهان عالی فسفاتاز قلیایی ندارند، به نظر می‌رسد این آنزیم را بیشتر میکروارگانیسم‌ها و جانوران خاک‌زی در خاک تولید می‌کنند (Tarafdar, 1995). مادهٔ آلی محیط بهتری را برای پایداری آنزیم‌های برون‌سلولی فراهم می‌آورد و از آن‌ها در مقابل تنش‌های محیطی حمایت می‌کند (Balota, 2004).

به نظر می‌رسد که بیوچار (Akça and Namli, 2015) و مواد زاید آلی مانند لجن فاضلاب، کمپوست، لجن زغال‌سنگ و کمپوست لجن فاضلاب قادر به تحریک و افزایش زیست‌توده و فعالیت میکروبی، همچنین فعالیت‌های آنزیمی در خاک است (Emmerling *et al.*, 1996). افزایش دسترسی میکروارگانیسم‌ها به مواد غذایی به‌دنبال افزودن مواد آلی و افزایش ترشحات ریشه‌ای دلیلی بر افزایش فعالیت فسفاتازهاست (Tejada *et al.*, 2006).

Namli and Akça (2015) با بررسی اثر بیوچار کود مرغی بر فعالیت‌های آنزیمی خاک گزارش کردند که با کاربرد بیوچار، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی به طور معناداری افزایش یافت. Giusquiani و همکاران (1988) اظهار داشتند که افزودن کمپوست زبالهٔ شهری حلالیت فسفر خاک را افزایش می‌دهد. آن‌ها احتمال دادند که افزایش حلالیت فسفر خاک به سبب تشکیل کمپلکس‌های فسفوهیومیکی است که فرایند تثبیت را به حداقل می‌رساند و جانشینی آنیون فسفر توسط یون هومات، و پوشش ذرات سزکوی اکسید توسط هوموس در آن به شکل پوشش محافظ است. Ma و همکاران (2010) گزارش کردند که افزودن کلش در طول کشت جذب فسفر را در خاک‌های قرمز و شالیزاری کاهش داد، اما اثر کمتری بر لاتوسول داشت. Liang و همکاران (2006) بیان داشتند که بیوچار علاوه‌بر آزادکردن مستقیم فسفر محلول، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهد و ممکن است قابلیت دسترسی فسفر را با مهیاکردن ظرفیت تبادل آنیونی یا با تأثیر بر فعالیت کاتیون‌های در تعامل

1. Spent Mushroom Compost

Archive of SID

www.SID.ir

با فسفر تغییر دهد. Hunt و همکاران (2007) گزارش دادند این امکان وجود دارد که مکان‌های تبادلی مثبت بیوچار با اکسیدهای آهن و آلومینیم (برای مثال، گیبسایت و گئوتایت) شبیه آنچه برای هومیک و فولویک اسید مشاهده شد برای جذب فسفر محلول رقابت کند. هدف ما از این مطالعه بررسی اثر کمپوست قارچ مصرفی و بیوچار باگاس نیشکر بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند نمونه خاک آهکی تهیه‌شده از استان البرز است.

مواد و روش‌ها

سه نمونه خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مزرعهٔ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (ارتفاع از سطح دریا ۱۲۹۶ متر، طول جغرافیایی ′۵۷ E ° ۵۰ و عرض جغرافیایی ′۴۷ N ° ۳۵)، منطقهٔ اشتهارد (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۸۱ متر، طول جغرافیایی ′۱۹ E ° ۵۰ و عرض جغرافیایی ′۴۴ N ° ۳۵) و منطقهٔ پلنگ‌آباد (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۵ متر، طول جغرافیایی ′۳۶ E ° ۵۰ و عرض جغرافیایی ′۴۴ N ° ۳۵)، واقع در استان البرز برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder,1986)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، فسفر محلول در آب (Kuo, 1996)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Nelson and Sommers, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیم (Chapman, 1965)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصارهٔ ۱:۱ خاک به آب، کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (Nelson, 1982) و درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با دستگاه صفحات فشاری تعیین شد (جدول ۱).

کمپوست قارچ مصرفی تازه از واحد تولید قارچ ملارد تهیه و سپس هواخشک و جهت یکنواخت‌کردن ذرات خرد شد. باگاس نیشکر نیز از شرکت کشت و صنعت نیشکر دعبل خزایی خوزستان تهیه شد. با توجه به عدم دسترسی به کورهٔ مناسب تولید بیوچار در گروه، برای تولید بیوچار ابتدا مواد اولیهٔ باگاس نیشکر در داخل قوطی‌های فلزی قرار داده شد. بعد برای اینکه اکسیژن موجود در ظرف تا حد امکان حذف شد، شمعی روشن را روی مواد اولیهٔ درون قوطی قراردادیم. سپس درب ظرف را بستیم و برای اطمینان از عدم ورود هوا با گِل دور تا دور درب ظرف را پوشیدیم. سپس، درون کورهٔ الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت سه ساعت حرارت دید. جالب اینکه روی بیوچار تولیدشده خاکستری مشهود نبود که این نشان‌دهندهٔ صحت روش استفاده‌شده برای تولید بیوچار و موفقیت در حذف اکسیژن است. سپس بیوچار تولیدشده را از الک ۲ میلی‌متری عبور دادیم. pH و قابلیت هدایت الکتریکی SMC و بیوچار در عصاره ۱:۱۰، فسفر محلول در آب و فسفر قابل‌جذب به روش‌های فوق و فسفر کل به روش هضم خشک در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

این پژوهش با پنج تیمار (بیوچار ۱۵ تن در هکتار (B1) و ۳۰ تن در هکتار (B2)، کمپوست قارچ ۲۰ تن در هکتار (SMC1) و ۴۰ تن در هکتار (SMC2) و تیمار شاهد (C)) در سه بافت لوم (L)، لوم شنی (SL) و لوم رسی (CL) و در سه زمان ۱۴(T_1)، ۶۰ (T_2) و ۱۲۰ (T_3) روز در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. به منظور اجرای آزمایش، ۳۰۰ گرم خاک هواخشک توزین و پس از اعمال تیمارهای مختلف درون گلدان ریخته شد. گلدان‌ها در دمای ۲۹ درجهٔ سانتی‌گراد و تهویهٔ مناسب در داخل انکوباتور نگهداری شد. در طول آزمایش رطوبت گلدان‌ها در دامنهٔ ۷۰-۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به روش وزنی کنترل شد. در فاصلهٔ زمانی، ۱۴، ۶۰ و ۱۲۰ روز از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری شد (حذف گلدان‌ها). نمونه‌خاک‌ها پس از هواخشک‌شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس، فسفر قابل‌جذب و pH در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. بعد از پایان دورهٔ انکوبه‌شدن، به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ۱ گرم خاک توزین و به ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر تولوئن و ۴ میلی‌لیتر بافر فسفات با (pH=۱۱) و ۱ میلی‌لیتر از محلول سوبسترای پارانیتروفنیل به آن افزوده شد. نمونه‌ها برای یک ساعت در دمای ۱±۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد در انکوباتور قرارگرفت. بعد از آن محلول به وسیلهٔ کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد، ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار و ۱ میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۵ مولار برای اتمام فعالیت آنزیمی بدان افزوده و کاملاً تکان داده شد. تغییر رنگ در نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری و به صورت میکروگرم پارانیتروفنل بر گرم خاک خشک در یک ساعت انکوبه‌کردن ($\mu g\ (PNP.g^{-1}Soil.\ h^{-1}$) محاسبه شد (Tabatabai *et al.*, 1969). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۱ درصد انجام و برای رسم نمودارها از برنامهٔ اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. بر اساس نتایج ارائه‌شده، خاک منطقهٔ اشتهارد، مزرعهٔ دانشکده و منطقهٔ

Archive of SID
www.SID.ir

پلنگ‌آباد به ترتیب دارای بافت لوم رسی، لوم و لوم شنی بود. میانگین درصد کربنات کلسیم معادل در هر سه نمونهٔ خاک بالای ۵ درصد و pH آن‌ها نیز در دامنهٔ ۷ تا ۸/۵ بود. خاک لوم رسی با میانگین مقدار pH ۷/۷۲ دارای بالاترین pH بود. بنابراین، بر اساس طبقه‌بندی خاک فائو، خاک‌های مورد استفاده جزو خاک‌های آهکی طبقه‌بندی می‌شود (IUSS, W., 2014). میانگین فسفر قابل جذب نیز در خاک لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۱۷/۲، ۸/۱ و ۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در دو خاک لوم و لوم رسی از نظر تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان به احتمال زیاد محدودیت وجود دارد.

اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر تیمار و بافت و اثر متقابل آن‌ها بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی معنادار ($P<0.01$) است (جدول۳). مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون LSD نشان داد که همهٔ تیمارها فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را در مقایسه با شاهد به طور معناداری ($P<۰/۰۱$) افزایش داد (شکل۱A). در بین تیمارها، در SMC2 (۳۴۲۵ $\mu g\ PNP.\ g^{-1}Soil.\ h^{-1}$) بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در مقایسه با شاهد (۲۶۳۶ $\mu g\ PNP.\ g^{-1}Soil\ .h^{-1}$) اندازه‌گیری شد. فعالیت فسفاتاز قلیایی در تیمار SMC1 به طور معناداری کمتر از SMC2 بود ولی تفاوت معناداری با دو سطح بیوچار اعمال‌شده نداشت. افزایش فعالیت فسفاتاز خاک بعد از چهار ماه انکوبه‌کردن به علت تحریک فعالیت میکروبی ناشی از کمپوست قارچ و بیوچار اضافه‌شده یا رشد زیست‌تودهٔ میکروبی در پاسخ به افزایش مادهٔ آلی و محتوای عناصر غذایی خاک‌ها و بهبود خصوصیات فیزیکی همانند ظرفیت نگهداشت آب و عناصر غذایی است در این رابطه، Martens و همکاران (1992) گزارش کردند که کاربرد هر نوع مادهٔ آلی به افزایش قابل توجه در فعالیت فسفاتاز منجر می‌شود. Dinesh و همکاران (2003) نیز افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی با کاربرد کود مرغی و کود دامی را گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر با افزودن کلش برنج، فضولات خوک و کلش برنج به همراه فضولات خوک، فعالیت فسفاتاز قلیایی به طور معناداری افزایش پیدا کرد (Liang *et al.*, 2003). شدت فعالیت آنزیمی در خاک به طور شایان توجهی به نوع و سطح مادهٔ آلی اضافه‌شده بستگی دارد (Kalembasa and Symanowicz, 2012). بر اساس نتایج این مطالعه، سطح بالاتر کمپوست قارچ نسبت به سطح کمتر آن در افزایش فعالیت فسفاتاز مؤثرتر بود که احتمالاً به سبب کربن در دسترس بیشتر در سطح بالاتر کمپوست قارچ است. به‌علاوه، عملکرد کمپوست قارچ نسبت به بیوچار بهتر است که ناشی از تجزیه‌پذیری بالای آن و در نتیجه نقش بهتر در تحریک فعالیت میکروبی است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی (واحد)	مقدار		
	خاک منطقهٔ اشتهارد	خاک مزرعهٔ دانشکده	خاک منطقهٔ پلنگ‌آباد
EC ($dS.m^{-1}$)	۱/۸۹	۰/۵۱۴	۰/۵۴
pH	۷/۷۲	۷/۰۸	۷/۰۷
فسفر قابل‌جذب ($mg.Kg^{-1}$)	۴/۴۲	۸/۱۳	۱۷/۲۱
فسفر محلول در آب ($mg.Kg^{-1}$)	۲/۵	۲/۵	۸/۰۶
ظرفیت تبادل کاتیونی ($Cmolc.Kg^{-1}$ Soil)	۱۴/۵۸	۱۳/۴۲	۱۰/۹۰
رطوبت ظرفیت مزرعه (w %)	۲۵/۸۵	۲۱/۵۵	۱۴/۲۲
کربن آلی (%)	۰/۷۵	۰/۸	۰/۹
کربنات کلسیم معادل (%)	۱۴/۹	۷/۸۵	۵/۶
شن (%)	۳۵	۳۸	۶۱
سیلت (%)	۳۱	۳۵	۲۱
رس (%)	۳۴	۲۷	۱۸
کلاس بافت خاک	لوم رسی	لوم	لوم شنی

نتایج نشان داد که بافت خاک فعالیت فسفاتاز قلیایی را تحت تأثیر قرارمی‌دهد. در دو خاک لوم و لوم رسی (به ترتیب ۳۳۶۴ و ۳۳۱۰ $\mu g\ PNP.\ g^{-1}Soil.\ h^{-1}$) در مقایسه با خاک لوم شنی (۲۳۴۶ $\mu g\ PNP.\ g^{-1}Soil.\ h^{-1}$) فعالیت فسفاتاز قلیایی به

Archive of SID

www.SID.ir

طور قابل توجهی بیشتر بود (شکل۱B). گزارش شده که سرعت میکروارگانیسم‌ها در سنتز و آزادسازی فسفاتازها یا پایداری فسفاتازها با pH خاک مرتبط است. پایداری و فعالیت فسفاتاز قلیایی با افزایش pH افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در pH=۱۱ حداکثر فعالیت را نشان می‌دهد (Tabatabai, 1994). در پایان دورهٔ انکوبه‌کردن، pH دو خاک لوم و لوم رسی در همهٔ تیمارها به‌طور شایان توجهی بالاتر از pH خاک لوم شنی بود (جدول۶) که یکی از دلایل بالاتربودن فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در این دو خاک است. سطح فسفر در دسترس در محلول خاک یکی دیگر از عوامل کنترل‌کنندهٔ میکروارگانیسم‌ها در تولید فسفاتازهاست. فسفر در دسترس در خاک لوم شنی چند برابر مقدار فسفر دو بافت دیگر بود (جدول۱) که احتمالاً از دیگر دلایل کمتربودن فعالیت فسفاتاز در این خاک نسبت به دو خاک دیگر است. Nannipieri و همکاران (2012) بیان داشتند فعالیت فسفاتازها در خاک را فسفر معدنی متوقف می‌کند. Kiss و همکاران (1974) نیز با بررسی تأثیر کود بر فعالیت آنزیم فسفاتاز نشان دادند که رابطهٔ خطی معکوسی بین غلظت فسفات در محلول خاک و فعالیت فسفاتاز وجود دارد. همچنین، Karami (1957) گزارش کرد بیشترین فعالیت فسفاتاز زمانی است که کمترین مقدار فسفر در دسترس وجود داشته باشد.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های SMC و بیوچار

ویژگی SMC (واحد)	مقدار	
	SMC	بیوچار
EC ($dS.m^{-1}$)	۱۲/۶۲	۰/۰۰۸
pH	۶/۶۶	۸/۷۹
فسفر قابل‌جذب ($mg.Kg^{-1}$)	۸۳/۳	۲۸/۶
فسفر محلول در آب ($mg.Kg^{-1}$)	۲۱/۴	۳/۶
فسفر کل ($mg.Kg^{-1}$)	۵۴۶۶	۶۶۷/۸

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر تیمار و بافت بر آنزیم فسفاتاز قلیایی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات
تیمار	۴	۲۹۲۲۵۰۶**
بافت	۲	۹۸۳۸۷۴۵**
بافت در تیمار	۸	۱۳۱۴۹۳۴**
اشتباه	۳۰	۷۱۹۴۴۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۱۵

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر تیمار، بافت و زمان بر فسفر قابل جذب، فسفر محلول در آب و pH

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	
		فسفر قابل‌جذب	pH
بافت	۲	۲۲۹۱/۵**	۱/۲۱**
تیمار	۴	۱۷۷۶/۷**	۰/۳۷**
زمان	۲	ns۴/۵	۷/۵۳**
بافت در تیمار	۸	۱۴/۹*	۰/۰۱۲*
بافت در زمان	۴	ns۱۴/۲	۰/۲۴**
تیمار در زمان	۸	ns۱۲/۹	۰/۰۴**
بافت در تیمار در زمان	۱۶	۱۸/۱**	۰/۰۱۴**
اشتباه	۹۰	۶/۵	۰/۰۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۵/۰۱	۱/۰۲

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

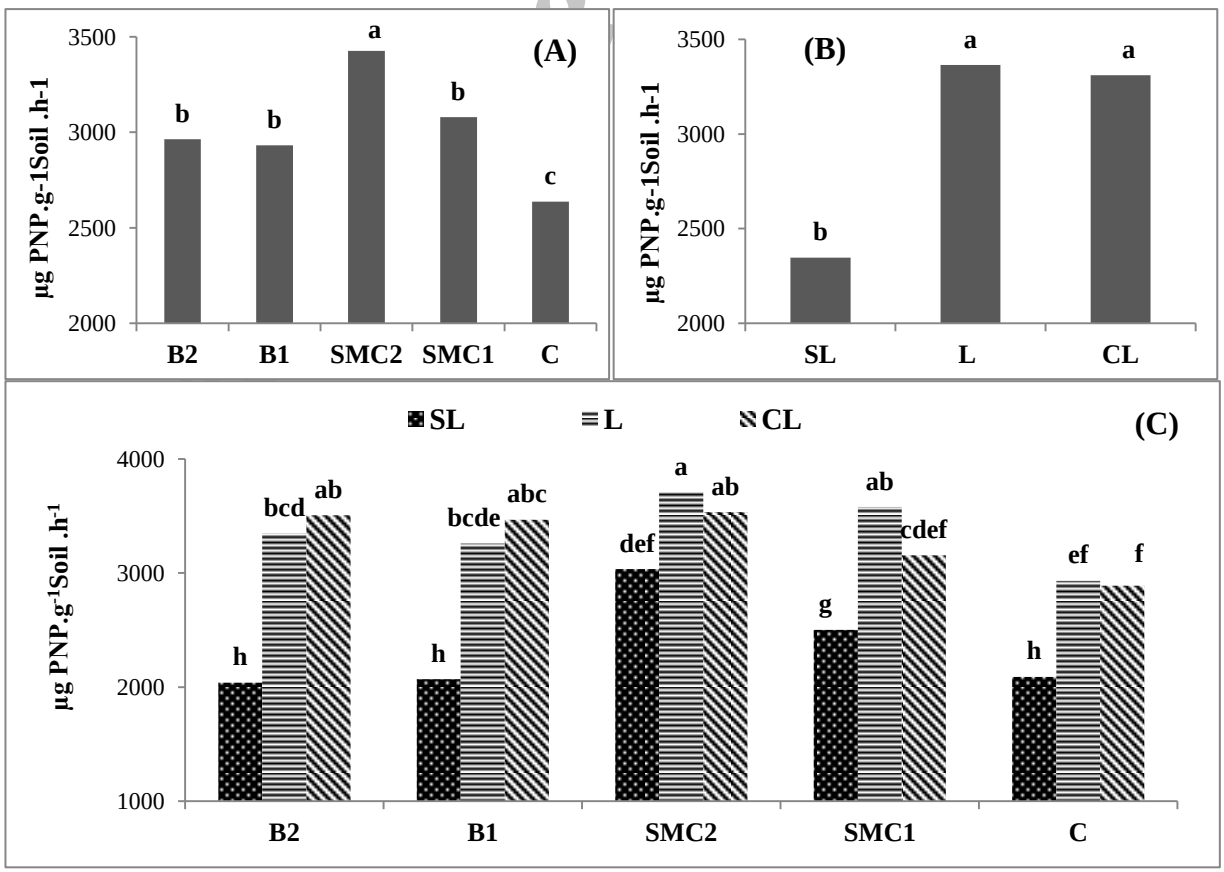
همچنان‌که در شکل۱C مشاهده می‌شود، در خاک لوم شنی هیچ کدام از دو سطح بیوچار تأثیر معناداری بر فعالیت فسفاتاز نداشت، حال آنکه در خاک لوم رسی هر دو سطح بیوچار و در خاک لوم تنها سطح بالاتر بیوچار به‌طور قابل‌توجهی فعالیت فسفاتاز قلیایی را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در مقابل، سطح بالاتر کمپوست قارچ در هر سه خاک سبب افزایش معنادار فسفاتاز قلیایی شد. ولی سطح پایین‌تر آن در لوم رسی تأثیری بر فعالیت فسفاتاز قلیایی نداشت. این نشان می‌دهد که یک نوع بیوچار در همهٔ خاک‌ها یکسان رفتار نمی‌کند و بسته به منبع بیوچار، روش تولید و خاک ممکن است رفتار جذبی یا فعالیت بیولوژیکی متفاوتی به علت گستردگی pH، مساحت سطح، توزیع اندازهٔ منافذ و ویژگی‌های بار داشته باشد.

اثر تیمارها بر فراهمی فسفر

نتایج تجزیهٔ واریانس فسفر قابل‌جذب نشان داد که اثر تیمار و بافت و اثر متقابل بافت در تیمار در زمان در سطح احتمال کمتر از ۱ درصد و اثر متقابل بافت در تیمار در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد معنادار و اثر زمان، اثر متقابل بافت در زمان و اثر متقابل تیمار در زمان غیرمعنادار است (جدول ۴). نتایج مقایسهٔ

www.SID.ir

میانگین‌های اثر اصلی تیمارها نشان‌دهندهٔ اثر متفاوت نوع مادهٔ آلی افزوده‌شده به خاک است (شکل A۲). با توجه به شکل A۲، هر دو سطح کمپوست قارچ میانگین فسفر قابل‌جذب خاک را در طول دورهٔ انکوبه‌کردن در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی (P<۰/۰۱) افزایش داد. میانگین فسفر قابل‌جذب خاک از ۱۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به۲۹/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار SMC2 افزایش یافت. این افزایش با اختلاف فسفر اولسن و فسفر محلول در آب موجود در SMC در مقایسه با بیوچار (جدول۲) مرتبط است. به طور طبیعی، SMC نسبت به بیوچار تجزیه‌پذیرتر است و نتایج سنجش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (شکل A۱) به نوعی مؤید این ادعاست. بنابراین، علاوه‌بر آزادسازی مستقیم فسفر از SMC، بخش فسفر نامحلول که قسمت اعظم فسفر کل (جدول ۲) آن را تشکیل می‌دهد و قابل مقایسه با بخش اندک قابل جذب آن نیز نیست، احتمالاً از طریق تجزیهٔ میکروبی به شکل محلول آزاد و سبب افزایش فراهمی فسفر شده است. همچنین، افزایش در فراهمی فسفر ممکن است به واسطهٔ آزادسازی مقادیر محسوس CO_2 طی تجزیهٔ مادهٔ آلی و کمپلکس‌شدن کاتیون‌های اصلی مسئول تثبیت فسفر در خاک‌های آهکی مانند کلسیم اتفاق افتاده باشد. Badanur و همکاران (1990) گزارش کردند که افزایش شایان توجه در فراهمی فسفر با کاربرد بقایای گیاهی و کود سبز به سبب آزادسازی اسیدهای آلی در طول تجزیه است، که از طریق حل‌کردن فسفر بومی به چرخهٔ فسفر کمک می‌کند. Cabilovski و همکاران (2014) با کاربرد کمپوست قارچ، ورمی کمپوست و کود دامی افزایش شایان توجه در فراهمی فسفر نسبت به شاهد، برای سه سال متوالی را گزارش کردند. همچنین، Van Zwieten و همکاران (2010) با مطالعهٔ اثر بیوچار در خاک شنی نشان دادند که فراهمی فسفر تغییری نکرد. در مقابل، Sujana و همکاران (2014) با کاربرد بیوچار کود مرغی، بیوچار پوستهٔ برنج، کود مرغی و پوستهٔ برنج در سطوح مختلف گزارش کردند که فسفر قابل‌جذب افزایش معناداری پیدا کرد. از جمله دلایل متناقض‌بودن نتایج محققان در زمینهٔ تأثیر بیوچار بر فراهمی فسفر می‌توان به متفاوت‌بودن نوع مادهٔ اولیه برای تولید بیوچار، دمای تولید، زمان حرارت‌دادن، نرخ حرارت‌دادن و نوع خاک اشاره کرد که در تجزیه‌پذیری بیوچار نقش مهمی دارند.

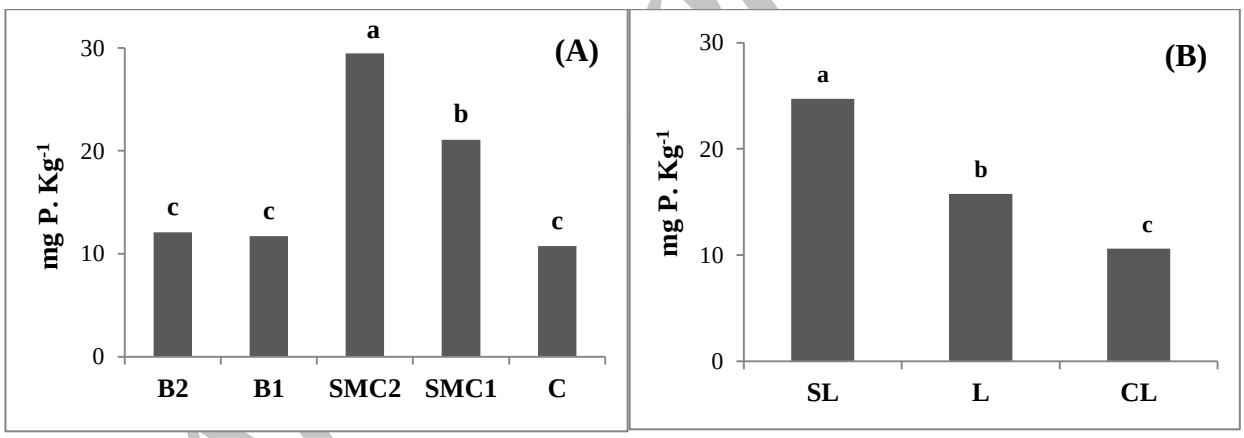


شکل ۱. اثر اصلی تیمار (A)، اثر اصلی بافت (B) و اثر متقابل بافت در تیمار (C) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در پایان دورهٔ انکوبه‌کردن. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار آماری (P<۰/۰۱) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، SMC1 و SMC2 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لومو CL لوم رسی

www.SID.ir

فراهمی فسفر در بافت‌های مختلف متفاوت بود (شکل۲B). هر سه بافت از نظر فسفر قابل‌جذب تفاوت معناداری (P<۰/۰۱) نشان داد (شکل۲B). بعد از اعمال تیمارها خاک لوم شنی با میانگین ۲۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و خاک لوم رسی با میانگین ۱۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار فسفر قابل‌جذب در طول دورهٔ انکوبه‌کردن را داشت. فراهمی فسفر در خاک شدیداً به ظرفیت جذب فسفر خاک وابسته است (Gburek *et al.*, 2005) و با عواملی از قبیل pH، کربنات کلسیم، مادهٔ آلی، درصد رس، و اکسیدهای آهن و آلومینیم کنترل می‌شود. همان‌گونه که نتایج تجزیهٔ اولیهٔ خاک (جدول۱) نشان داد، در خاک لوم رسی به علت بالاتربودن pH، کربنات کلسیم، درصد رس و کمتربودن کربن آلی در مقایسه با خاک لوم و لوم شنی شرایط برای تثبیت فسفر مساعدتر است. در نتیجه سبب‌شده که در این خاک کمترین مقدار فسفر قابل‌جذب در مقایسه با سایر خاک‌ها مشاهده شود. در تیمار SMC2 در هر زمان و همهٔ بافت‌ها بیشترین مقدار فسفر قابل‌جذب در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد (جدول۵) به‌طوری‌که در زمان دوم اندازه‌گیری مقدار فسفر قابل جذب در سه خاک لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۳۸/۹، ۳۱/۷ و ۲۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت، که در مقایسه با مقدار شاهد در این خاک‌ها در همین زمان (به ترتیب ۲۰/۷، ۱۰/۴ و ۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تفاوت قابل‌توجه نشان داد (P<۰/۰۱).

با توجه به اینکه در مطالعهٔ حاضر اثر اصلی زمان (جدول۴) بر فسفر قابل جذب معنادار نبود، اعمال تیمارها به‌خصوص کمپوست قارچ علاوه‌بر اینکه سبب افزایش فسفر قابل‌جذب شد، طی چهار ماه انکوبه‌کردن این افزایش فراهمی را به حالت پایدار نگه داشت. Zhai و همکاران (2015) با بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف بیوچار بقایای ذرت بر فراهمی فسفر در دو خاک اسیدی و قلیایی و اندازه‌گیری فسفر اولسن در چند زمان مشاهده کردند که با افزایش سطح کاربرد بیوچار، فسفر اولسن نیز افزایش یافت، ولی اثر زمان بی‌تأثیر بود.



شکل ۲. اثر اصلی تیمار (A) و بافت (B) بر فسفر قابل‌جذب خاک در طول دورهٔ انکوبه‌کردن. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار آماری (P<۰/۰۱) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، SMC1 و SMC2 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

اثر متقابل بافت در تیمار در زمان نشان داد که هر دو سطح بیوچار در خاک لوم در زمان سوم (جدول۵) سبب افزایش معنادار فسفر قابل‌جذب در مقایسه با شاهد شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد یک نوع بیوچار در همهٔ خاک‌ها رفتار یکسان نشان نمی‌دهد. شاید بتوان این افزایش در فراهمی فسفر پس از چهار ماه را به ماهیت کند تجزیه‌پذیر بیوچار مرتبط دانست. این نتیجه نشان می‌دهد که بیوچار بعد از استفاده در این نوع خاک‌ها منبع فسفر عمل می‌کند (Parvage *et al.*, 2013). هرچند، آزادسازی فسفر از بیوچار سابقاً به‌واسطهٔ واجذب مقدار قابل‌توجه فسفر از بیوچار در آزمایش‌های جذب فسفر در سطح صفر فسفر اثبات شده است (Morales *et al.*, 2013). Ch'ng و همکاران (2014) با بررسی اثر بیوچار، کمپوست و ترکیب آن‌ها بر بهبود فراهمی فسفر و اندازه‌گیری فسفر در سه زمان مختلف اظهار داشتند که اصلاح‌کننده‌های آلی در همهٔ زمان‌ها فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد به طور معناداری افزایش داد و علت افزایش فسفر قابل‌جذب را با معدنی‌شدن میکروبی فسفر آلی مرتبط دانستند.

در این مطالعه، نتایج اندازه‌گیری فعالیت فسفاتاز قلیایی در پایان دورهٔ انکوبه‌کردن (زمان سوم) (شکل۱C) در اکثر تیمارها با فسفر قابل‌جذب (جدول۵) دارای ارتباط مستقیم و در برخی نیز بدون ارتباط بود.

www.SID.ir

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل بافت در تیمار در زمان بر فسفر قابل‌جذب خاک در طول دورهٔ انکوبه‌کردن. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار آماری (P<۰/۰۱) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، SMC1 و SMC2 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، و SL شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

بافت	زمان	تیمار				
		B2	B1	SMC2	SMC1	C
SL	T_1	^{gh}۲۱/۲	^{gh}۲۰/۳	^{ab}۳۶/۰	^{cdef}۲۷/۴	^{gh}۲۰/۳
	T_2	^{hij}۱۷/۹	^{hij}۱۷/۹	^{a}۳۸/۹	^{cd}۲۸/۸	^{gh}۲۰/۷
	T_3	^{hijk}۱۶/۶	^{ghi}۱۹/۳	^{ab}۳۶/۱	^{bc}۳۱/۴	^{hijk}۱۷/۴
L	T_1	^{mno}۷/۹	^{lmn}۱۰/۵	^{cde}۲۷/۵	^{ghij}۱۸/۱	^{mno}۸/۱
	T_2	^{klm}۱۲/۴	^{mno}۸/۱	^{bc}۳۱/۷	^{hij}۱۷/۹	^{lmn}۱۰/۴
	T_3	^{hijk}۱۶/۹	^{jkl}۱۳/۸	^{cdef}۲۷/۴	^{hijk}۱۷/۵	^{mno}۷/۸
CL	T_1	^{o}۳/۶	^{o}۴/۶	^{fgh}۲۱/۹	^{gh}۲۰/۷	^{o}۳/۸
	T_2	^{mno}۷/۸	^{no}۶/۳	^{defg}۲۳/۵	^{ijkl}۱۴/۱	^{o}۳/۸
	T_3	^{o}۴/۴	^{o}۴/۳	^{efgh}۲۲/۱	^{jkl}۱۳/۸	^{0}۴/۱

اثر تیمارها بر pH

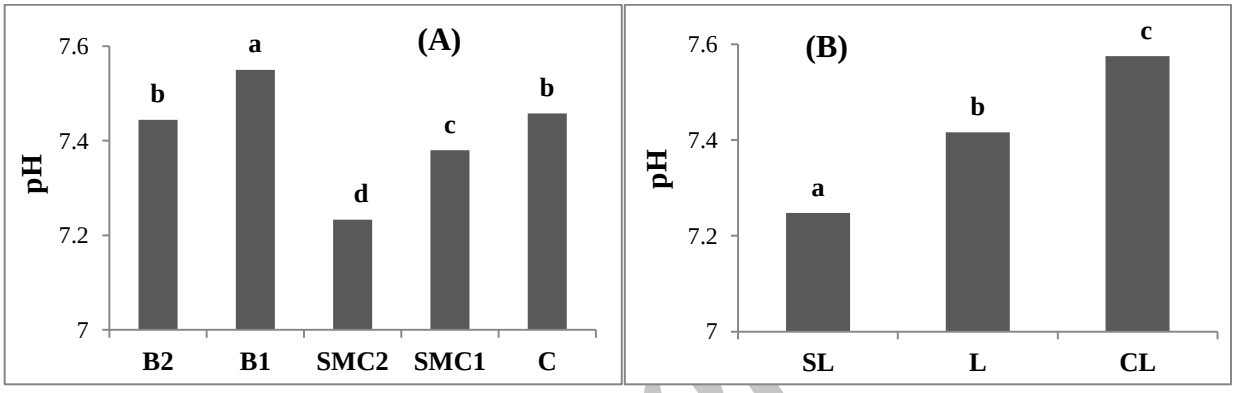
نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که همهٔ آثار اصلی و متقابل بر pH خاک معنادار است (P<۰/۰۱ و P<۰/۰۵؛ جدول۴). همان‌گونه که شکل A۳ نشان می‌دهد، اثر اصلی نوع و میزان کاربرد مادهٔ آلی اضافه‌شده به خاک‌ها تأثیر متفاوتی بر pH خاک در طول دورهٔ انکوبه‌کردن داشت. هر دو سطح کمپوست قارچ به‌طور شایان توجهی سبب کاهش pH خاک شد، در صورتی که pH در تیمار B2 افزایش معنادار نشان داد (P<۰/۰۱) و تیمار B1 تغییری در pH ایجاد نکرد (شکلA۳). با توجه به (جدول ۲) pH در مواد اولیهٔ کمپوست قارچ و بیوچارکاملاً متفاوت است. Mkhabela (1998) بیان داشت که تغییر pH خاک بستگی به pH اولیهٔ خاک، pH کمپوست و مقدار کاربرد کمپوست دارد. کاربرد کمپوست در خاک‌های کمی قلیایی اغلب سبب کاهش یا عدم تغییر در pH شد (McComell, 1993). Dey and Banik (1982) نیز گزارش کردند که کمپوست حاصل از ضایعات بستر قارچ باعث افزایش اسیدیتهٔ خاک‌های آهکی شده است. با این حال برخی مطالعات (Vahabi Mashak *et al.*, 2008) با کاربرد کمپوست قارچ در خاک آهکی افزایش در pH را گزارش کردند. افزایش قابل‌توجه در pH بعد از کاربرد بیوچار ممکن است با معدنی‌شدن کربن و تولید آنیون OH^- از طریق تبادل لیگاندی و تولید میزان زیادی کاتیون‌های بازی همانند کلسیم و منیزیم مرتبط باشد (Iyamuremye *et al.*, 1996). Ch'ng و همکاران (2014) نیز با بررسی اثر بیوچار، کمپوست و ترکیب آن‌ها بر بهبود فراهمی فسفر در خاک اسیدی اظهار داشتند که pH خاک در مقایسه با شاهد به طور معناداری افزایش یافت. آن‌ها علت افزایش pH خاک را تبادل سریع پروتون (H^+) بین خاک و اصلاح‌کننده‌های آلی بیان کردند.

میانگین مقدار pH در خاک‌ها (شکلB۳) نیز تفاوت قابل‌توجهی داشت. بعد از اعمال تیمارها، میانگین pH در طول دورهٔ انکوبه‌کردن در بافت لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۷/۲۵، ۷/۴۲ و ۷/۵۸ بود که از نظر آماری تفاوت معنادار (P<۰/۰۱) داشت. خاک لوم رسی نسبت به دو خاک دیگر دارای ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و آهک بالاتری (جدول۱) است که سبب افزایش ظرفیت بافری خاک و در نتیجه واکنش آن در برابر تغییر pH می‌شود. بنابراین، طبیعی به نظر می‌رسد که در شرایط مطالعهٔ حاضر مقدار pH در آن بیش از سایر خاک‌هاست. در خاک لوم شنی از آنجا که مقدار پارامترهای مذکور دارای کمترین مقدار نسبت به دو خاک دیگر بود (جدول۱)، احتمالاً ظرفیت بافری کمتر بوده است و در نتیجه سبب‌شده که در آن کمترین مقدار pH مشاهده شود.

با توجه به جدول ۶ در هر سه بافت pH همهٔ تیمارها در زمان اول (چهارده روز بعد از اعمال تیمارها) کمترین مقدار بود، و بعد از دو ماه انکوبه‌کردن به بالاترین مقدار افزایش یافت. در نهایت، بعد از چهار ماه روند کاهشی نشان داد. این تغییرات ممکن است به علت تغییر در فعالیت میکروارگانسیم‌های خاک اتفاق افتاده باشد. در هر سه بافت در تیمارهای مختلف pH زمان اول با زمان دوم، همچنین pH زمان دوم نسبت به زمان سوم تفاوت معنادار نشان داد، ولی بین مقدار pH

Archive of SID
www.SID.ir

اندازه‌گیری‌شده در زمان اول و سوم در خاک لوم شنی در همهٔ تیمارها (به‌جز تیمار B1) تفاوت معنادار وجود نداشت. این مسئله احتمالاً با ظرفیت بافری بالاتر دو خاک لوم و لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی مرتبط است، به‌طوری‌که در زمان سوم در خاک لوم شنی pH به قدری کاهش نشان داد که در همهٔ تیمارها (به جز تیمار B1) با زمان اول تفاوت معناداری نداشت، ولی در دو خاک لوم و لوم رسی pH زمان سوم در همهٔ تیمارها نسبت به زمان اول بیشتر است و از نظر آماری نیز تفاوت معناداری بود (جدول۶). در هر زمان اندازه‌گیری در هر سه خاک، در هر دو سطح کمپوست قارچ کمترین pH در مقایسه با شاهد مشاهده شد که دلیل آن یکی pH اسیدی کمپوست قارچ مورد استفاده و دیگری احتمالاً تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌ها و به‌دنبال آن افزایش تولید CO_2 و کاهش pH است. این نتایج نشان‌دهندهٔ اثر مثبت کمپوست قارچ در کاهش pH خاک‌های آهکی و به دنبال آن بهبود فراهمی عناصر کم‌تحرکی از قبیل فسفر در این خاک‌هاست.



شکل ۳. اثر اصلی تیمار (A) و بافت (B) بر pH خاک در طول دورهٔ انکوبه‌کردن. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار آماری (P<۰/۰۱) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، SMC1 و SMC2 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل بافت در تیمار در زمان بر pH خاک در طول دورهٔ انکوبه‌کردن. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار آماری (P<۰/۰۱) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، SMC1 و SMC2 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

بافت	زمان	تیمار				
		B2	B1	SMC2	SMC1	C
SL	T_1	^{nop}۷/۰۶	^{nopq}۷/۰۱	^{q}۶/۸۹	^{nop}۷/۰۶	^{mno}۷/۰۹
	T_2	^{gh}۷/۶۷	^{def}۷/۸۵	^{jkl}۷/۳۱	^{gh}۷/۶۳	^{gh}۷/۶۲
	T_3	^{mnop}۷/۰۸	^{jk}۷/۳۵	^{opq}۶/۹۳	^{nopq}۷/۰۴	^{nop}۷/۰۸
L	T_1	^{nopq}۷/۰۱	^{nop}۷/۰۸	^{pq}۶/۹۲	^{opq}۶/۹۴	^{nopq}۷/۰۴
	T_2	^{cd}۷/۹۸	^{ab}۸/۱۵	^{gh}۷/۶۶	^{fgh}۷/۷	^{cde}۷/۹۱
	T_3	^{jk}۷/۳۷	^{ij}۷/۴۶	^{klm}۷/۲۴	^{jk}۷/۳۵	^{jk}۷/۳۷
CL	T_1	^{nop}۷/۰۷	^{nopq}۷/۰۳	^{opq}۶/۹۶	^{mn}۷/۱۲	^{lmn}۷/۱۵
	T_2	^{bc}۸/۰۲	^{a}۸/۲۴	^{def}۷/۸۴	^{bcd}۸	^{bc}۸/۰۶
	T_3	^{fgh}۷/۷۱	^{efg}۷/۷۶	^{jkl}۷/۳۱	^{hi}۷/۵۶	^{efg}۷/۷۶

برعکس، در اکثر زمان‌ها بیشترین مقدار pH در دو سطح بیوچار اندازه‌گیری شد (جدول۶). در تأیید نتایج مطالعهٔ حاضر تا زمان دوم (شصت روز بعد از انکوبه‌کردن)، Yu و همکاران (2013) با کاربرد کمپوست کود مرغی و کود آلی تجاری در سه خاک با مواد مادری مختلف و اندازه‌گیری pH در فواصل زمانی سی و شصت روز پس از انکوبه‌کردن مشاهد کردند که pH همهٔ تیمارها در هر سه خاک در شصت روز نسبت به زمان سی روز به طور معناداری افزایش یافته بود.

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در مطالعهٔ حاضر بسته به بافت خاک نتایج متفاوت بود. استفاده از کمپوست قارچ مصرفی در خاک لوم بهترین اثر را در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی داشت، درحالی‌که بیوچار در خاک لوم رسی مؤثرتر از سایر بافت‌ها عمل کرد. کاربرد بیوچار در خاک لوم شنی احتمالاً به دلیل غلظت بالای فسفر در دسترس موجود در خاک، تأثیر معناداری بر فعالیت فسفاتاز قلیایی در مقایسه با شاهد نداشت. داده‌های مطالعهٔ انجام‌شده نشان داد که استفاده از SMC در خاک‌های آهکی علاوه بر فراهمی فسفر، با کاهش pH احتمالاً به افزایش فراهمی سایر عناصر ضروری با حلالیت کم در این خاک‌ها (مثل آهن، روی، مس و منگنز) نیز منجر شود. کاربرد سطح بالای SMC بیشترین تأثیر را بر فراهمی فسفر و کاهش pH خاک‌ها داشت و در طول چهار ماه انکوبه‌کردن این تغییر در فراهمی فسفر پایدار بود. این نشان می‌دهد که SMC در طول دورهٔ رشد فسفر را در خاک برای گیاه در دسترس نگه می‌دارد. بیوچار تنها در خاک لوم در زمان سوم سبب افزایش معنادار فسفر قابل‌جذب در مقایسه با شاهد شد. احتمالاً به علت ماهیت کند تجزیه‌پذیر بیوچار است که این تأثیر در سایر خاک‌ها یا زمان‌ها مشاهده نشد.

REFERENCES

Akça, M. O., and Namli, A. (2015). Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 203-210.

Barahimi, N., Afyuni, M., Karami, M., and Rezaee Nejad, Y. (2009). Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. *journal of science and technology of agriculture and natural resources*, 12(46), 803-812. (In Farsi)

Badanur, V. P., Poleshi, C. M., and Naik, B. K. (1990). Effect of organic matter on crop yield and physical and chemical properties of a vertisol. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 38(3), 426-429.

Balota, E. L., Kanashiro, M., Colozzi Filho, A., Andrade, D. S., and Dick, R. P. (2004). Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, 35(4), 300-306.

Banik, S., and Dey, B.K. (1982). Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms. *Plant and Soil*, 69(3), 353-364.

Cabilovski, R., Manojlovic, M., Bogdanovic, D., Magazin, N., Keserovic, Z., and Sitaula, B. K. (2014). Mulch type and application of manure and composts in strawberry (Fragaria× ananassa Duch.) production: impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste˙(Agriculture)*, 101(1), 67-74.

Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. In Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. (eds.), Methods of Soil Analysis. *American Society of Agronomy, Madison, WI*, pp. 891–901.

Ch'ng, H. Y., Ahmed, O. H., and Majid, N. M. A. (2014). Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. *The Scientific World Journal*. Published 16 June 2014. from http://dx.doi.org/10.1155/2014/506356

Dawson, M., Dixon, T., Inkerman, P. (1990). Moisture loss from baled bagasse during storage. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists*, pp. 199-206.

Dick, W. A., Tabatabai, M. A., and Metting Jr, F. B. (1992). Significance and potential uses of soil enzymes. *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*, pp. 95-127.

Dinesh, R., Ganeshamurthy, A.N., Chaudhuri, S.G., Prasad, G.S. (2003). Dissolution of rock phosphate as influenced by farmyard manure, fresh poultry manure and earthworms in soils of an oilpalm plantation. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 51: 308–312.

Emmerling C, Embacher A, 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.

Gagnon, B., Simard, R.R. (1999). Nitrogen and phosphorus release from on farm and industrial composts. Canadian *Journal of Soil Science*. 79, 481–489.

Gee, G.W., and Bauder, J.W. (1986). Particle- size analysis. In Klute, A. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 383-411.

Gburek, WJ., Barberis, E., Haygarth, PM., Kronvang, B., and Stamm, C. (2005). Phosphorus mobility in the landscape. In: Sims JT, Sharpley AN (eds) Phosphorus: agriculture and the environment. *Soil Science Society of America, Madison, WI*, PP. 947–953.

Glaser, B., Lehmann, J. and Zech,W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review', *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219–230.

Giusquiani, P. L., Marucchini, C., and Businelli, M. (1988). Chemical properties of soils amended

Archive of SID

www.SID.ir

with compost of urban waste. *Plant and Soil*, 109(1): 73-78.

Hunt, J. F., Ohno, T., He, Z., Honeycutt, C. W., and Dail, D. B. (2007). Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. *Biology and fertility of soils*, 44(2), 277-288.

Hue, N. V. (1991). Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Science*, 152(6), 463-471.

Food and Agriculture Organisation, (2012). FAOSTAT database. http://www.fao. 2012 Available from.

Iyamuremye, F., and Dick, R.P. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption. *Advance Agronomy*, 56: 139-185.

Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., and Zimmerman, A. R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 101(22), 8868-8872.

IUSS, W. (2014). World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.*World Soil Resources Reports*, (106).

Kalembasa, S., and Symanowicz, B. (2012). Enzymatic activity of soil after applying various waste organic materials, ash, and mineral fertilizers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1635-1641.

Karami, M., Afyuni, M., Rezaee Nejad, Y., and Khosh Goftarmanesh, A. (2009). Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Zinc and Copper Concentration in Soil and Wheat. *journal of science and technology of agriculture and natural resources*, 12(46), 639-654. (In Farsi)

Kiss, S., Stefanic, G., Dragan-Bularda, M. (1974). Soil enzymology in Romania. II. *journal of Contributii Botanice (Botanical Contributions)*, pp. 197–207.

Kızılkaya, R., Aşkın, T., Bayraklı, B., and Sağlam, M. (2004). Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*. 40: 95-102.

Kuo, S. (1996). Phosphorus. In D. L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 869-919.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'neill, B., and Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.

Liang, Y., Yang, Y., Yang, C., Shen, Q., Zhou, J., and Yang, L. (2003). Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil. *Geoderma*, 115(1), 149-160.

Martens, D.A., Johanson, J.B., Frankenbenger, W.T. (1992). Production and persistence of soil enzymes with repeated additions of organic residues. *Soil Science*, 153: 53–61.

Ma, L., and Xu, R. K. (2010). Effects of regulation of pH and application of organic material adsorption and desorption of phosphorus in three types of acid soils. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 26, 596-599.

McConneU, D.B., Shiraiipour, A and Smith, W.H. (1993). Compost application improves soil properties. *Biocycle*. 34: 61-63.

Mkhabela, M. S. (1998). Effects of municipal solid waste compost on soil phosphorus availabüity and uptake by potatoes and sweet Corn. *Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, Canada*.

MoralesMM, Comerford N, Guerrini IA, Falcao NPS, Reeves JB. (2013). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar–soil mixtures. *Soil Use Management*, 29: 306–314.

Nannipieri, P., Giagnoni, L., Renella, G., Puglisi, E., Ceccanti, B., Masciandaro, G., Fornasier, F., Moscatelli, MC., and Marinari, S. (2012). Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and fertility of soils*. 48:743–762.

Nelson, D.W., and Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd Edition Agronomy. Monographs. 9. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 539-579.

Olsen, S.R., and Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In Klute, A. (ed.), Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and microbiological Methods. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 403-430.

Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In : Page A.L., Miller R.H. , Keeney D.R. (eds), Methods of Soil Analysis. *American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*. pp. 181–197.

Parvage MM, Ulén B, Eriksson J, Strock J, Kirchmann H (2013) Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. *Biology and fertility of soils*. 49: 245–250.

Sujana, I. P., Lanya, I., Subadiyasa, I. N. N., and Suarna, I. W. (2014). The effect of dose biochar and organic matters on soil characteristic and corn plants growth on the land degraded by garment liquid waste. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4(5), 77-88.

Tabatabai, M. A., and Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil biology and biochemistry*, 1(4), 301-307.

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.

Tabatabai , M. A. (1982). Soil enzymes, in: Methods of Soil Analysis, part 2, *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 903-947.

Archive of SID

www.SID.ir

Tarafdar, J. C. (1995). Visual demonstration of in vivo acid phosphatase activity of VA mycorrhizal fungi. *Current Science*, 69(6), 541-543.

Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J.L., and Hernandez, M.T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1413-1421.

Yu, W., Ding, X., Xue, S., Li, S., Liao, X., and Wang, R. (2013). Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Journal of soil science and plant nutrition, (AHEAD)*. pp. 23-31.

Vahabi Mashak, F., Mirseyed Hosseini, H., Shorafa, M., and Hatami, S. (2008). Investigation of the effects of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties of soil and leachate. *Journal of Water and Soil*, 22(2), 395-406. (In Farsi)

Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J., and Chan, K. Y. (2010). A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. Soil Research, 48(7), 569-576.

Williams, B. C., McMullan, J. T., and McCahey, S. (2001). An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresource Technology*, 79(3), 227-230.

Zhai, L., CaiJi, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., ... and Liu, H. (2015). Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 113-122.

Archive of SID

www.SID.ir