نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۷، ص. ۳۱۲-۲۹۹

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 2, May.-Jan. 2018, p. 299-312

تأثیر بیوچارهای مختلف و مواد اولیه آن‌ها بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عناصر غذایی با گذشت زمان در یک خاک آهکی

مجید فروهر[۱]- رضا خراسانی[۲*]- امیر فتوت[۳]- حسین شریعتمداری[۴]- کاظم خاوازی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۷

چکیده

تبدیل مواد آلی به بیوچار و مصرف آن در خاک، راهکار نوینی است برای تغییر جهت و هدایت "انقلاب سبز" به سمت داشتن "اکوسیستم‌های زراعی پایدار". برای بهره‌مندی از مزایای بیوچار و مشخص کردن محدودیت‌های احتمالی کاربرد آن در خاک‌های کشورمان، بررسی اثر انواع بیوچارها از جنبه‌های مختلف ضروری است. در همین راستا در تحقیقی که به صورت اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد، تأثیر مصرف سه نوع بیوچار مختلف بر pH، شوری و مقدار قابل استفاده فسفر و پتاسیم خاک در مقایسه با مواد اولیه آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب، کود گاوی و بیوچارهای آن‌ها. پس از اعمال تیمارها (بر اساس مصرف وزن های یکسان کربن آلی و معادل با ۱۷ تن در هکتار کود گاوی) در نمونه‌های یک کیلوگرمی از یک خاک آهکی با بافت لوم شنی و رساندن رطوبت آن‌ها به حد ظرفیت مزرعه، نمونه‌های تیمار شده، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور، نگهداری شدند. در زمان‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز بعد از شروع آزمایش از خاک‌های تیمار شده نمونه‌برداری شد و فاکتورهای مورد نظر، در آن‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج بررسی اثرمتقابل تیمار در زمان روی پارامترهای مورد اندازه‌گیری، تحت تأثیر هر یک از تیمارها تغییرات فسفر قابل استفاده خاک با زمان، یک روند اغلب افزایشی معنی‌دار را نشان داد. تغییرات پتاسیم قابل استفاده، pH و شوری خاک با گذشت زمان معنی‌داری نبود. طبق نتایج مقایسه اثر تیمارها، هم بیوچارها و هم مواد اولیه آن‌ها توانایی چشمگیری در افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک دارا بودند، اما اثر بیوچارها بارزتر بود. فسفر قابل جذب خاک از مقدار ۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در شاهد، به ترتیب به مقادیر ۱۱/۵، ۱۵/۷، ۲۱، ۱۷/۳، ۴۰/۷ و ۲۵/۲ میلی‌گرم تحت تأثیر هر یک از تیمارهای کمپوست زباله شهری، کود گاوی، لجن فاضلاب، بیوچار کمپوست زباله شهری، بیوچار کود گاوی و بیوچار لجن فاضلاب، افزایش یافت. مصرف این مواد، پتاسیم قابل استفاده خاک را از ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب به ۱۳۵، ۱۹۸، ۱۸۱، ۱۵۰، ۳۹۰ و ۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رساند. افزایش شوری خاک در تمام تیمارها نسبت به شاهد (عدم مصرف بیوچار یا مواد اولیه آن‌ها) ملاحظه شد. pH خاک در اثر مصرف هر یک از تیمارها نسبت به شاهد کاهش یافت. از این نظر تفاوتی بین بیوچارها و مواد اولیه آن‌ها ملاحظه نشد. با توجه به اثرات بارزتری که بیوچارهای مورد بررسی در این تحقیق در افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به مواد اولیه خود نشان دادند به نظر می‌رسد که بتوان در کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره و پتاسه، به طور مؤثرتری از آن‌ها بهره جست.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، کمپوست زباله شهری، کود دامی، لجن فاضلاب

مقدمه

امروزه عواقب ناشی از روند غیرطبیعی تغییر اقلیم از حد یک تهدید، به یک واقعیت فاجعه‌بار تبدیل شده است. گرم شدن جهانی و تبعات آن، به شدت با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر

۱- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، و مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسؤل: Email: khorasani@um.ac.ir)
۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۵- استاد بخش تحقیقات بیولوژی خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
DOI: 10.22067/jsw.v32i2.66097

مرتبط می‌باشد. یکی از کارآمدترین روش‌های کاهش میزان CO_2 اتمسفری، تبدیل زیست توده به بیوچار و اضافه کردن آن به خاک می باشد (۳۵). بیوچار یا زغال زیستی، ماده جامد غنی از کربن آلی است که می‌تواند از پیرولیز[1] انواع مواد آلی حاصل شود. به عبارت دیگر بیوچار از تخریب حرارتی بسیاری از مواد آلی (زیست توده گیاهی، فضولات جانوری، لجن فاضلاب و ...) در شرایط نبود یا کمبود اکسیژن ایجاد می‌شود و در مقابل تجزیه میکروبی، ماندگاری چندین ساله پیدا می‌کند (۱۹). هسته زیتون، خاک اره، چیپس چوب (خرده چوب)، پوست بادام زمینی، باگاس نیشکر، کاه و کلش گندم، جو، برنج و انواع چمن‌ها، کود دامی (خوکی، گاوی، گوسفندی و مرغی)، لجن فاضلاب، ضایعات کارخانه‌های چرم‌سازی و ... از جمله موادی هستند که بیوچارهای مختلف حاصل از آن‌ها در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۵، ۱۲، ۱۶ ۳۲، ۳۹ و ۴۲). بر اساس اظهارات پاریس (۲۸) و استرسف و همکاران (۳۷)، در طی فرآیند پیرولیز، همگام با افزایش دمای پیرولیز تغییراتی در ماده آلی رخ می‌دهد. اولین تغییر، دهیدراتاسیون ماده آلی و کمی دپلیمریزاسیون سلولز است که همراه با کمی کاهش وزن در ماده اولیه نیز می‌باشد. واکنش‌های بعدی، به ترتیب دپلیمریزاسیون کامل سلولز یا تخریب حرارتی کامل آن است که با تبخیر ترکیبات آلی فرار و کاهش وزن بیشتری در ماده اولیه و همچنین تشکیل ماتریکسی از کربن آمورف همراه است. واکنش بعدی، رشد صفحه‌های پلی آروماتیک و واکنش نهایی، کربونیزاسیون است که طی آن، بیشتر اتم‌ها غیر از کربن حذف می‌شوند. بنابراین، ترکیب شیمیایی مواد اولیه و دمای به‌کار رفته برای تولید بیوچار، تأثیر بارز و تعیین کننده‌ای بر طبیعت فیزیکی و شیمیایی و در نتیجه رفتار بیوچار دارند. در بیوچارهای حاصل از کود دامی و لجن فاضلاب، گروه‌های عاملی نیتروژن و سولفور، فراوان‌تر از بیوچارهای لیگنوسلولزی بوده‌اند (۱۸). در بیوچارهای دما پایین حاصل از لجن فاضلاب، که توسط بگریف و همکاران (۲) ساخته شده بودند، گروه‌های عامل آمینی و در بیوچارهای دما بالا، گروه‌های عامل شبه پیریدینی تشخیص داده شد. در تحقیقات کاچیکو و همکاران (۱۶)، در بیوچارهای دما پایین کود مرغی، گروه‌های عاملی اصلی برای نیتروژن، آمین‌های پیرولی و پیریدینی و برای گوگرد، سولفونات‌ها و سولفات‌ها بودند. با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از رفتار شیمیایی یک ترکیب، به نوع و میزان گروه‌های عاملی سطح در آن ترکیب وابسته است، بنابراین در شرایط محیطی یکسان بیوچارهای دارای گروهای عاملی متفاوت، رفتار متفاوتی خواهند داشت.

نگاهی به مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقاتی که در ارتباط با مصرف بیوچار انجام شده است در خاک‌های با هوادیدگی شدید و غیرحاصلخیز بوده است (۷، ۱۵، ۱۷، ۲۱ و ۲۲).

بارزترین اثرات مصرف بیوچار نیز در خاک‌های اسیدی با هوادیدگی شدید ملاحظه شده است. افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش pH خاک، افزایش مقدار قابل استفاده عناصر غذایی و در بعضی موارد کاهش آن‌ها، از نتایج ملاحظه شده در بیشتر این تحقیقات بوده‌است (۸، ۱۱ و ۳۱). به‌طور کلی در ارتباط با مصرف بیوچار در خاک‌های قلیائی، مطالعات اندکی صورت گرفته است. اثرات مفیدی از مصرف بیوچار در خاک‌های مناطق معتدله که واکنش خاک در آن‌ها قلیایی است، گزارش شده است (۱۳). لنتز و همکاران (۲۰)، با مصرف ۲۲/۵ تن در هکتار از بیوچار حاصل از نوعی درخت پهن‌برگ جنگلی چوب سخت در یک خاک اریدی‌سول آهکی، تغییری در pH خاک و فراهمی فسفر و کاتیون‌ها ملاحظه نکردند. اییولیتو و همکاران (۱۰)، در یک خاک اریدی سول، اثر دو نوع بیوچار حاصل از نوعی علف (sweet grass) از خانواده چمنیان که در دو دمای پیرولیز تولید شده بودند را بر آبشویی عناصر غذایی، مورد بررسی قرار دادند. در نمونه‌های خاک تیمار شده با هر یک از بیوچارها، آبشویی پتاسیم افزایش و آبشویی نیتروژن نیتراتی، کاهش یافت. در مطالعات کامیاما و همکاران (۱۲) در یک خاک آهکی، مصرف بیوچارهای دما بالای حاصل از باگاس نیشکر، سبب افزایش نگهداشت عناصر غذایی و آب در خاک شد. آسایی و همکاران (۱)، با مصرف مقدار ۸ تن در هکتار بیوچار حاصل از درختان ساج و اقاقیا در یک خاک لس قلیایی افزایش فراهمی فسفر را گزارش کردند. ون‌زویتن و همکاران (۳۸) با مصرف ۱۰ تن در هکتار از دو نوع بیوچار حاصل از ضایعات کارخانه کاغذسازی، در یک خاک اریدی سول، به غیر از افزایش در میزان کربن کل، تغییری در مقدار قابل عصاره‌گیری عناصر غذایی ملاحظه نکردند.

مطالعه در مورد بیوچار در داخل کشور تنها چند سالی است که شروع شده است. نجفی قیری (۲۶) در اثر کاربرد بیوچارهای حاصل از بقایای گیاهی، افزایش فوق‌العاده‌ای در شکل‌های مختلف پتاسیم نسبت به شاهد ملاحظه کرد. در تحقیق آزمایشگاهی دیگری که توسط زلفی و همکاران (۴۱) انجام شد، مصرف کود مرغی و تمامی بیوچارهایی که در دماهای مختلف، از آن ساخته شده بودند، سبب افزایش کربن آلی، شوری و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد. بهنام و همکاران (۴) نیز، با کاربرد بیوچار باگاس نیشکر، شاهد افزایش ماده آلی خاک بودند. مصرف تفاله پسته یا بیوچارهای حاصل از آن در مطالعات صفرزاده شیرازی و رجبی (۲۹ و ۳۰)، سبب افزایش معنی‌دار pH و شوری خاک نسبت به شاهد شد.

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا و از جمله ایران، کمبود ماده آلی خاک، کمبود منابع آلی و ناپایداری آن‌ها در خاک، از مهمترین چالش‌های مطرح در ضعف حاصلخیزی خاک و رشد و عملکرد نامناسب گیاه، محسوب می‌شود (۱۴ و ۱۹). برای بهبود پایدار حاصلخیزی خاک‌ها با استفاده از منابع آلی موجود، پایدار کردن مواد

1- Pyrolysis

آلی از طریق تبدیل آن‌ها به بیوچار که از ماندگاری حداقل ۵۰ تا ۱۰۰ ساله در خاک برخوردار است (۱۸)، می‌تواند به عنوان یک راهبرد اساسی پیشنهاد شود. چنانچه به‌کارگیری این راهبرد در اراضی کشاورزی کشورمان مد نظر باشد، مطالعه و بررسی اثرات بیوچارهای مختلف بر خصوصیات مهم خاک، از جمله خصوصیات شیمیایی و قابلیت استفاده عناصر غذایی، ضروری است. در همین راستا، برای پرداختن به گوشه‌ای از این سؤال که آیا تغییرات ناشی از بیوچار کردن مواد آلی می‌تواند باعث تغییرات مطلوب در خصوصیات خاک‌های آهکی (با زمان) شود یا خیر؟ در فاز اول پژوهشی جامع روی بیوچار، اثر بیوچارهای حاصل از سه ماده آلی شامل کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کودگاوی در مقایسه با مواد اولیه آن‌ها، در یک خاک انتی‌سول آهکی در یک دوره زمانی ۶ ماهه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییرات شوری، pH و مقدار قابل استفاده عناصر فسفر و پتاسیم خاک تحت تأثیر برخی مواد آلی و بیوچارهای حاصل از آن‌ها در یک خاک انتی سول آهکی با بافت لوم شنی انجام شد. آزمایش در یک دوره زمانی شش ماهه، به صورت اسپلیت پلات در زمان و در قالب طرح کاملا تصادفی با ۷ تیمار و در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کمپوست زباله شهری، کود گاوی، لجن فاضلاب، بیوچار کمپوست زباله شهری، بیوچار لجن فاضلاب، بیوچار کود گاوی و شاهد بدون ماده آلی بود. تولید این بیوچارها در شرایط دمایی ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و در دستگاه مجهزی که به همین منظور ساخته شده بود، انجام شد. در طول مدت پیرولیز دما و اتمسفر محفظه پیرولیز به دقت کنترل شد. مایعات و بخارات حاصل از پیرولیزبه طور کامل به بیرون از محفظه هدایت شد و به این ترتیب از ترسیب و اختلاط آن‌ها با بیوچارهای در حال شکل‌گیری ممانعت شد. مقدار مصرف مواد اولیه و بیوچارهای آن‌ها برای یک کیلوگرم خاک، بر اساس کاربرد وزن‌های یکسان کربن آلی و معادل با مصرف مقدار متعارف ۱۷ تن در هکتار کود گاوی محاسبه شد. به این ترتیب تمام تیمارها حاوی ۲/۲ گرم کربن آلی بودند. بر این اساس مقادیر مصرف کمپوست، بیوچارکمپوست، لجن فاضلاب، بیوچار لجن فاضلاب، کود گاوی و بیوچار کود گاوی برای یک کیلوگرم خاک به ترتیب ۲۱/۴، ۲۰، ۱۷، ۱۴/۵، ۸/۵ و ۷/۶ گرم بود. نمونه‌های هوا خشک یک کیلوگرمی از خاک مورد آزمایش، عبور کرده از الک ۲ میلی‌متری، توزین شده و با هر یک از تیمارها به طور جداگانه مخلوط شدند. پس از رساندن رطوبت آن‌ها به حد رطوبت ظرفیت مزرعه، به قوطی‌های درب دار (با ۳ سوراخ تعبیه شده روی درب آن‌ها) منتقل و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد داخل انکوباتور نگهداری شدند. در طول زمان خوابانیدن ۶ ماهه، رطوبت خاک‌ها در فواصل دو تا ۳ روزه در حد FC تنظیم شد. در زمان‌های ۵ گانه خوابانیدن، نمونه‌برداری از آن ها انجام شد. زمان‌های نمونه‌برداری از خاک‌های تیمار شده و خوابانیده شده در انکوباتور، ۱۰، ۳۰ ، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز بعد از شروع انکوباسیون بود. پس از هوا خشک شدن نمونه‌ها و کوبیدن و الک کردن مجدد با مش ۱۰۰ (۲ میلی‌متر)، پارامترهای شوری عصاره ۲/۵: ۱، pH سوسپانسیون ۲/۵: ۱، فسفر قابل استفاده (عصاره گیری شده با سدیم بیکربنات نیم نرمال) و پتاسیم قابل استفاده (عصاره‌گیری شده با آمونیوم استات نرمال)، اندازه‌گیری شدند. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش، بافت خاک لوم شنی با مقادیر ۲۱ درصد رس، ۷ درصد سیلت و ۷۲ درصد شن بود. کربنات کلسیم معادل ۱۶ درصد، شوری عصاره اشباع خاک ۱ دسی‌زیمنس بر متر و pH گل اشباع خاک، ۸ بود. مقدار کربن آلی و نیتروژن کل به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۰۴ درصد و مقادیر فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک به ترتیب ۶/۳ و ۷۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود.

ترکیب شیمیایی مواد اولیه و بیوچارهای ساخته شده از آن‌ها در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز در جدول ۱ آورده شده است. مقایسه خصوصیات بیوچارها با مواد اولیه آن‌ها در این جدول، نشان می‌دهد که بیوچارها از لحاظ کربن آلی، فسفر و پتاسیم کل، غنی تر از مواد اولیه و از لحاظ نیتروژن کل، فقیرتر از مواد اولیه می‌باشند. همچنین مقادیر شوری و pH سوسپانسیون ۱:۵، در بیوچارها افزایش یافته است. بیوچارهای حاصل از زیست توده‌های حیوانی و کودهای دامی، معمولا pH بالاتری نسبت به بیوچارهای حاصل از زیست توده‌های گیاهی دارند (۲۷، ۳۳ و ۳۶). مقایسه pH بیوچار کود دامی و بیوچار کمپوست زباله شهری در جدول ۱ نیز تداعی کننده این موضوع می باشد. براساس اظهارات خوستروم[1] (۳۴) بسته به این که در ترکیب شیمیایی یک ماده آلی، میزان سلولز، همی‌سلولز، لیگنین و سایر ترکیبات به چه نسبتی باشد، خصوصیات بیوچار حاصله در یک دمای مشخص، متفاوت خواهد بود.

1- Sjöström

جدول ۱- برخی از ترکیبات شیمیایی اندازه‌گیری شده در مواد اولیه و بیوچار آن‌ها

Table 1- Some chemical compounds and properties of biochars and their feedstock

	پی اچ سوسپانسیون ۱:۵ pH 1:5	هدایت الکتریکی عصاره ۱:۵ EC1:5 dSm^{-1}	کربن آلی OC	نیتروژن کل N total	فسفر کل P total	پتاسیم کل K total
			%			
کمپوست Municipal Waste Compost (MWC)	7.4	9.36	10.3	1.37	0.44	0.56
بیوچار کمپوست Biochar of MWC (BMWC)	8.8	9.5	11	1.09	0.58	0.72
لجن فاضلاب Sewage Sludge (SS)	7.5	3.37	12.9	1.87	0.58	0.11
بیوچارلجن فاضلاب Biochar of SS(BSS)	7.8	3.68	15.2	1.52	0.59	0.11
کود گاوی Cow Manure(CM)	8.3	22.8	25.8	1.94	0.91	2.46
بیوچار کود گاوی Biochar of C M (BCM)	10.5	40.6	28.7	1.79	1.02	2.89

با توجه به این که برای ساخت بیوچارهای مورد استفاده در این تحقیق از دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده‌شد، بنابراین، مطابق یافته‌های پاریس (۲۸) و استرسف و همکاران (۳۷)، در این دما بایستی واکنش‌های تخریب حرارتی سلولز، کامل شده و تبخیر ترکیبات آلی فرار و کاهش محسوس وزن در مواد اولیه رخ داده باشند. افزایش درصد کربن آلی، فسفر و پتاسیم و کاهش درصد نیتروژن در بیوچارها می‌تواند مربوط به تبخیر ترکیبات فرار نیتروژن‌دار و کاهش وزن مواد اولیه و در نتیجه تغلیظ آن‌ها از لحاظ کربن، فسفر و پتاسیم باشد. افزایش pH و شوری در بیوچارها نسبت به مواد اولیه نیز می تواند ناشی از مواد و گروه‌های عامل حاصل از تخریب حرارتی ترکیبات موجود در مواد اولیه و نیز حضور احتمالی مقادیری از خاکستر، همراه با بیوچار باشد (۲۸ و ۳۷) .

بر اساس مقادیر مصرف معادل ۲/۲ گرم کربن آلی در یک کیلوگرم خاک، از هریک از مواد آلی شش گانه و محتوای فسفر و پتاسیم کل در آن‌ها، محتوای فسفر و پتاسیم کل در تیمارهای آزمایش به شرح جدول ۲ محاسبه شد.

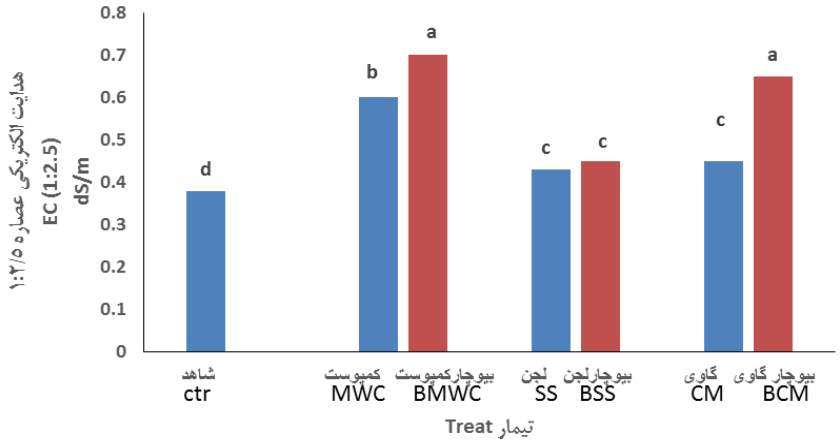
جدول ۲- مقدار فسفر و پتاسیم کل در تیمارهای آزمایش

Table 2- Phosphorous and potassium content of treatments

	کمپوست Municipal Waste Compost (MWC)	بیوچار کمپوست Biochar of MWC (BMWC)	لجن فاضلاب Sewage Sludge (SS)	بیوچار لجن Biochar of SS (BSS)	کود گاوی Cow Manure (CM)	بیوچار گاوی Biochar of CM (BCM)
مقدار مصرف Application rate ($g\ kg^{-1}$ soil)	21.4	20	17	14.5	8.5	7.6
مقدار فسفر کل در هر تیمار P content ($mg\ kg^{-1}$ soil)	90	120	100	80	80	80
مقدار پتاسیم کل در در هر تیمار K content ($mg\ kg^{-1}$ soil)	120	140	190	160	210	220

اثر تیمارها بر شوری خاک

نتایج آزمون دانکن (α = ۰/۰۵) برای مقایسه اثر تیمارها بر هدایت الکتریکی عصاره ۲/۵: ۱ خاک (شکل ۱) نشان داد که مصرف مقادیر معادل کربن (۲/۲ گرم کربن در یک کیلوگرم خاک) از هر یک از مواد اولیه و بیوچارهای حاصل از آن‌ها در خاک سبب افزایش معنی‌دار شوری خاک نسبت به شاهد شد.



شکل ۱- مقایسه اثر تیمارها بر شوری خاک (آزمون دانکن ۰/۰۵ =α)

Figure 1- The effect of treatments on Soil electrical conductivity (Duncan α=0.05)

هدایت الکتریکی عصاره ۲/۵: ۱ خاک به آب در شاهد ۰/۳۸ دسی زیمنس بر متر بود که در اثر مصرف کمپوست، با ۵۸ درصد افزایش به ۰/۶ دسی زیمنس بر متر و تحت تأثیر مصرف کود گاوی، با ۱۸ درصد افزایش به ۰/۴۵ دسی زیمنس بر متر رسید. شوری خاک تحت تأثیر لجن فاضلاب هم یک افزایش ۱۳ درصدی نسبت به شاهد نشان داد. مصرف بیوچارهای کمپوست و کود گاوی سبب افزایش شوری بیشتری در خاک نسبت به شاهد شد. شوری ایجاد شده در اثر شوری ایجاد شده در اثر کاربرد بیوچار کود گاوی و بیوچار کمپوست، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. مقایسه بیوچارها با مواد اولیه آن‌ها نشان داد که با مصرف بیوچار کود گاوی، شوری خاک نسبت به تیمار کود گاوی ۴۴/۴ درصد افزایش یافت. افزایش شوری خاک در تیمار بیوچار کمپوست نسبت به تیمار کمپوست، ۱۶/۶ درصد بود و بیوچار لجن فاضلاب تغییر معنی‌داری در شوری خاک نسبت به لجن فاضلاب ایجاد نکرد. آنچه از مقایسه شوری خاک تحت تاثیر بیوچارها و مواد اولیه آن‌ها بر می‌آید اینکه بیوچار کردن کمپوست زباله شهری و کود گاوی و مصرف آن‌ها در خاک، میزان شوری خاک را افزایش می‌دهد. این موضوع با تأمل در جدول ۱ نیز، منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۳- روند تغییرات شوری عصاره ۲/۵: ۱خاک در طول مدت خوابانیدن تحت تأثیر تیمارهای مختلف (آزمون دانکن ۰/۰۵ = α)

Table 3- The trend of EC of 1:2.5 extract of soil: distilled water during the incubation period (Duncan α=0.05)

	۱۰ روز 10 day	۳۰ روز 30 days	۶۰ روز 60 days	۱۲۰ روز 120 days	۱۸۰ روز 180 days
	EC 1:2.5 (dS m^{-1})				
شاهد Ctrl	0.37 c	0.38 c	0.39 c	0.38 c	0.39 c
کمپوست Municipal Waste Compost (MWC)	0.48 bc	0.58 ab	0.58 ab	0.64 ab	0.69 ab
بیوچار کمپوست Biochar of MWC (BMWC)	0.6 ab	0.7 a	0.7 a	0.73 a	0.73 a
لجن فاضلاب Sewage Sludge (SS)	0.39 c	0.44 c	0.4 c	0.43 c	0.52 b c
بیوچارلجن فاضلاب Biochar of SS(BSS)	0.4 c	0.4 c	0.4 c	0.5 bc	0.5 bc
کود گاوی Cow Manure(CM)	0.38 c	0.4 c	0.47 bc	0.47 bc	0.53 bc
بیوچار کود گاوی Biochar of C M (BCM)	0.6 ab	0.6 ab	0.6 ab	0.7 a	0.7 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

on the basis Duncan test.Means with the same letter are not significantly different at P≤ 0.05 level

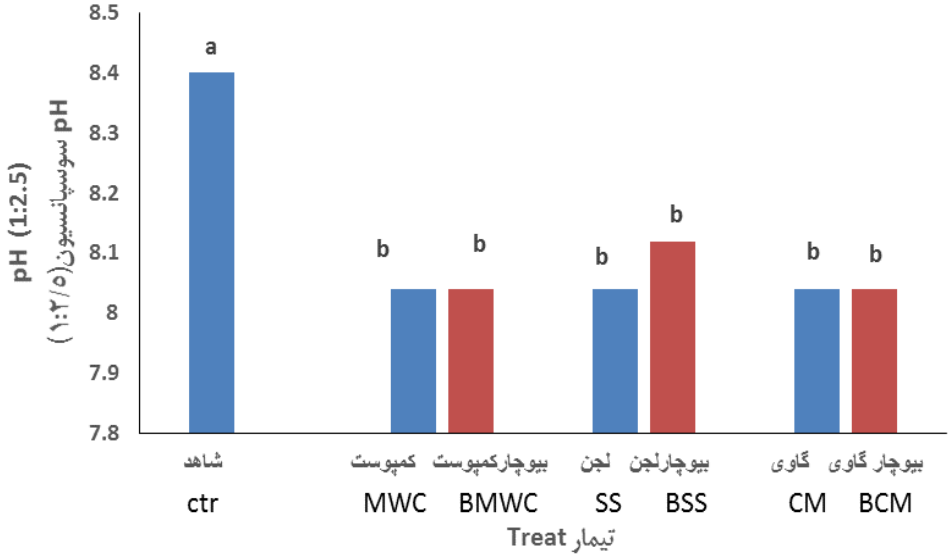
به‌هر حال برای تصمیم‌گیری در مورد مصرف و مقدار مصرف بیوچار هر یک از این دو منبع، قابلیت آن‌ها در افزایش شوری خاک نیز بایستی به عنوان یک عامل محدود کننده در نظر گرفته شده یا مدیریت شود.

تغییرات شوری خاک با زمان، تحت تأثیر تیمارهای مختلف، یک روند افزایشی را نشان داد (جدول ۳). چه در مواد اولیه و چه در بیوچارهای حاصل از آن‌ها، تغییر شوری خاک با گذشت زمان بسیار بطئی و غیر معنی‌دار بوده است. این بدان معناست که برآیند واکنش های شیمیایی و از جمله واکنش‌های انحلال و رسوب و همچنین فرآیندهای بیولوژیکی در مدت ۱۸۰ روز دوره خوابانیدن، در جهت افزایش املاح محلول پیش رفته است ولی این افزایش هنوز معنی‌دار نشده است.

اثر تیمارها بر pH خاک

مطابق با شکل ۲، مصرف مقادیر معادل کربن (۲/۲ گرم کربن در یک کیلوگرم خاک) از هر یک از مواد اولیه و بیوچار حاصل از آنها سبب کاهش معنی‌دار pH سوسپانسیون ۲/۵: ۱ خاک به آب شد. بجز بیوچار لجن فاضلاب، سایر بیوچارها و مواد اولیه سبب تغییر pH خاک از ۸/۴ به ۸/۰۴ شدند ولی این عدد در تیمار بیوچار لجن فاضلاب از ۸/۴ به ۸/۱۲ رسید.

اغلب گزارشات در مورد تأثیر بیوچارهای مختلف بر pH خاک، مبین افزایش pH خاک در اثر مصرف بیوچار بوده‌اند و حتی بعضی از آن‌ها از بیوچار به عنوان یک ابزار برای liming یا آهک‌دهی خاک نام برده‌اند (۱۱). منشاء این گزارشات اغلب تحقیقات انجام شده در خاک‌های اسیدی و مناطق پرباران و نیزخاک‌های با هوازدگی شدید بوده است. همچنین بیوچارهای مورد بررسی درچنین تحقیقاتی، بیشتر بیوچارهای دما بالا بوده اند (۲۵).



شکل ۲- مقایسه اثر تیمارها بر pH خاک (آزمون دانکن α = ۰/۰۵)

Figure 2- The effect of treatments on Soil pH (Duncan α=0.05)

این در حالی است که خاک مورد بررسی در تحقیق حاضر، خاک آهکی جوان با بافت سبک و pH قلیایی و بیوچارهای بکار رفته دراین تحقیق بیوچارهای دما پایین می‌باشد. بیوچارهای دما پایین دارای مقادیری کربن پیروژنیک و قابل دسترس هستند (۹ و ۲۳) که خود سبب افزایش فعالیت میکروبی خاک و فشار CO_2 در خاک و درنتیجه کاهش pH خاک حداقل به صورت موضعی می‌شوند. همچنین بسته به نوع ماده اولیه، گروه‌های عامل متفاوتی می‌توانند در بیوچارهای حاصله به وجود آید که روی pH خاک تأثیرگذار باشند. گزارشات متعددی وجود دارد مبنی بر اینکه بیوچار به خاطر فراهم آوردن شرایط محیطی مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها جمعیت میکروبی خاک را افزایش می‌دهد. اسیدهای آلی ترشح شده از این جمعیت میکروبی نیز می‌تواند از عوامل دخیل در کاهش جزئی pH خاک باشد. میته و همکاران (۲۴) در بررسی اثرات هم‌افزای بیوچار و کودهای NPK، روی سویا در یک خاک قلیایی، کاهش pH ناشی از مصرف بیوچار را عامل افزایش قابلیت جذب فسفر دانستند.

بررسی تغییرات pH در طول مدت انکوباسیون یا خوابانیدن، نشان

می‌دهد که چه در شاهد و چه در هریک از تیمارها، با گذشت زمان تغییر محسوسی در pH خاک ایجاد نشده است (جدول ۴). این بدان معناست که در همان ۱۰ روز ابتدایی انکوباسیون، عوامل کنترل کننده pH خاک در سیستم‌های ایجاد شده در اثر مصرف هر یک از تیمارها، با یکدیگر به تعادل رسیده‌اند و این تعادل در طول مدت انکوباسیون برقرار مانده است.

جدول ٤- روند تغییرات pH خاک در طول مدت خوابانیدن تحت تأثیر تیمارهای مختلف (آزمون دانکن α = ۰/۰۵)

Table 4- The trend of pH of 1:2.5 suspension of soil: distilled water during the incubation period (Duncan α=0.05)

	۱۰ روز 10 days	۳۰ روز 30 days	٦۰ روز 60 days	۱۲۰ روز 120 days	۱۸۰ روز 180 day
	pH (1:2.5)				
شاهد Ctrl	8.5[a]	8.4[a]	8.5[a]	8.4[a]	8.4[a]
کمپوست Municipal Waste Compost (MWC)	8.1[b]	8[b]	8.1[b]	8[b]	8[b]
بیوچار کمپوست Biochar of MWC (BMWC)	8[b]	8.2[b]	8[b]	8[b]	8[b]
لجن فاضلاب Sewage Sludge (SS)	8[b]	8[b]	8.1[b]	8.1[b]	8[b]
بیوچارلجن فاضلاب Biochar of SS(BSS)	8.2[b]	8.1[b]	8.1[b]	8.1[b]	8.1[b]
کود گاوی Cow Manure(CM)	8.1[b]	8.1[b]	8[b]	8[b]	8[b]
بیوچار کود گاوی Biochar of C M (BCM)	8.1[b]	8.1[b]	8[b]	8[b]	8[b]

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

on the basis Duncan test.Means with the same letter are not significantly different at P≤ 0.05 level

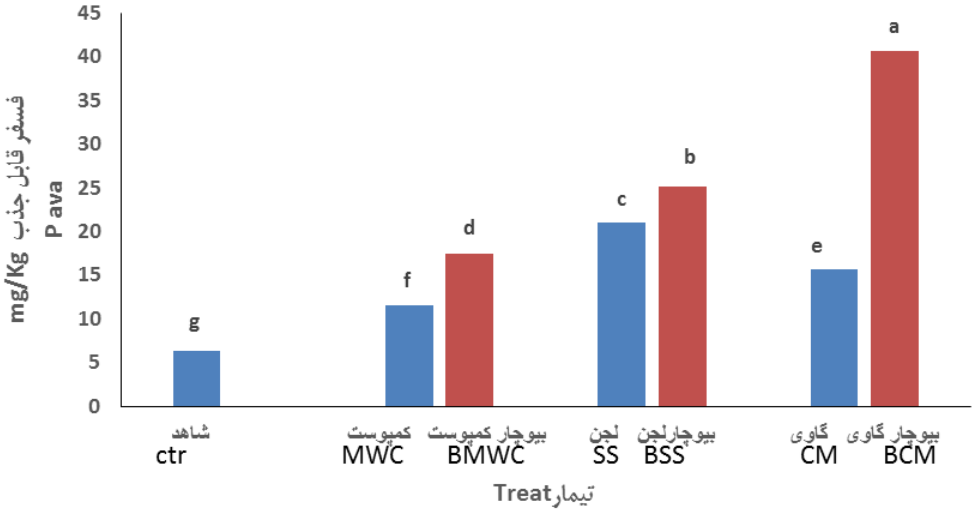
اثر تیمارها بر فسفر قابل استفاده خاک

تأثیر تیمارها بر میزان فسفر قابل استفاده خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. مصرف مقادیر معادل کربن (۲/۲ گرم کربن در یک کیلوگرم خاک) از لجن فاضلاب، مقدار فسفر قابل استفاده خاک را با ۳/۲۸ برابر افزایش از ۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در شاهد به ۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رساند. مصرف همان مقدار کربن معادل از کود گاوی، سبب افزایش فسفر خاک به میزان ۲/۴۵ برابر شاهد و مصرف همان مقدار کربن معادل از کمپوست، موجب افزایش فسفر قابل استفاده خاک به میزان ۸۱ درصد شاهد گردید.

در بین بیوچارها، کاربرد مقدار معادل ۲/۲ گرم کربن در یک کیلوگرم خاک از بیوچار کود گاوی با ۶/۳۵ برابر افزایش در فسفر قابل استفاده خاک نسبت به شاهد، میزان فسفر قابل استفاده را از ۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به ۴۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم رساند. بیوچار لجن فاضلاب، فسفر خاک را ۳/۹۴ برابر افزایش نسبت به شاهد از ۶/۴ به ۲۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم رساند. مصرف بیوچار کمپوست سبب افزایش فسفر خاک به میزان ۲/۷۱ برابر نسبت به شاهد شد.

به‌طور کلی در بین مواد اولیه، لجن فاضلاب بیشترین میزان فسفر قابل استفاده را در خاک ایجاد نمود، در بین بیوچارها، بیوچار کود گاوی از این لحاظ رتبه اول را داشت. بیوچار کردن مواد اولیه آلی و مصرف آنها در هر سه مورد سبب افزایش بیشتری در مقدار فسفر قابل استفاده خاک نسبت به مواد اولیه شد. فسفر خاک در اثر مصرف بیوچار کود گاوی نسبت به مصرف کود گاوی به میزان ۲/۶ برابر افزایش یافت. کمترین افزایش فسفر در اثر بیوچار کردن لجن فاضلاب به میزان ۱/۲ برابر نسبت به لجن فاضلاب بود. نکته قابل تأمل اینکه اگرچه با توجه به جدول ۲، فسفر کل موجود در تیمارهای کود گاوی، بیوچار کود گاوی و بیوچار لجن فاضلاب، یکسان و برابر با ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد، اثر آن‌ها بر فسفر قابل استفاده خاک یکسان نیست. آنچه مسلم است اینکه افزایش فسفر قابل استفاده خاک تحت تأثیر تیمارهای مذکور می‌تواند ناشی از مقدار فسفر قابل استفاده موجود در آن‌ها، اثر تیمارها در قابل استفاده کردن فسفر موجود در خاک و یا ناشی از تأثیر توام هر دو عامل باشد. علی رغم بیشتر بودن فسفر کل در کمپوست و بیوچار آن نسبت به کود گاوی و بیوچار آن، ضعیف‌تر بودن اثر کمپوست و بیوچار کمپوست در

افزایش فسفر قابل استفاده خاک نیز می‌تواند به طریق فوق توضیح داده شود. زیهانگ و همکاران (۴۰) در تحقیقات خود با ۹ نوع بیوچار گیاهی، نشان دادند که نقش بیوچار در بهبود قابلیت دسترسی فسفرخاک، از دو طریق اعمال می‌شود. یکی اضافه کردن مستقیم فسفر به خاک و دیگری افزایش نگهداشت فسفر در خاک. آن‌ها با انجام آزمایشات جذب و واجذب فسفر روی بیوچارها اظهار کردند که بسته به نوع بیوچار و غلظت فسفر خاک، شدت و ضعف بیوچارها در ایفای این دو نقش متفاوت است.



شکل ۳- مقایسه اثر تیمارها بر فسفر قابل استفاده خاک (آزمون دانکن α = ۰/۰۵)

Figure 3- The effect of treatments on soil available phosphorous (Duncan α=0.05)

بر اساس آنچه در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، اگرچه مقدار فسفر قابل استفاده خاک در بعضی از تیمارهای شش‌گانه با گذشت زمان دارای فراز و نشیب‌هایی است، ولی در تمامی آن‌ها یک روند کلی صعودی را نشان می‌دهد. تغییرات فسفر تحت تأثیر تیمار کمپوست تا روز ۶۰ ام افزایش یافت به نحوی که از ۸/۳۳ در روز دهم به ۱۴/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تا روز ۶۰ ام رسید. پس از آن با یک کاهش تا روز ۱۲۰ ام و ۱۸۰ ام به ۱۱/۶ رسید. در تیمار بیوچار کمپوست، این روند افزایشی تا روز ۱۲۰ ام ادامه داشت و فسفر قابل استفاده از ۱۶/۴ در روز دهم به ۱۹/۲ در روز ۱۲۰ ام رسید. پس از آن با یک کاهش معنی‌دار تا روز ۱۸۰ ام به ۱۷/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید. در تیمار لجن فاضلاب و بیوچار آن، روند صعودی تغییر فسفر قابل استفاده تا روز ۱۸۰ ام ادامه یافت. در تیمار کود گاوی هم افزایش مقدار فسفر قابل استفاده تا روز ۱۸۰ ام ادامه داشت ولی در تیمار بیوچار کود دامی بین زمان خوابانیدن ۱۰ تا ۶۰ روز، یک روند افزایشی در میزان فسفر قابل استفاده خاک ملاحظه شد. بعد از آن با یک کاهش معنی‌دار به سطح پایین تری رسید و تا پایان ۱۸۰ روز تغییر معنی‌داری نکرد.

با توجه به این که در هیچ یک از تیمارها تغییرات pH خاک با زمان معنی‌دار نبود بنابراین نمی‌توان بر اساس تغییر pH، تغییرات معنی‌دار فسفر با زمان را در تیمارهای مختلف توجیه کرد. وجود مقادیری خاکستر دارای فسفر اکسیده به صورت همراه با بیوچارها، واکنش‌های انحلال و رسوب و نیز آزاد شدن بیولوژیکی فسفر از منابع پیروژنیک (۲۵) احتمالی موجود در بیوچارها و از منابع آلی موجود در مواد اولیه و نحوه به تعادل رسیدن این عوامل با یکدیگر در طول زمان می‌تواند توجیه کننده افزایش فسفر قابل استفاده و تغییرات آن در تیمارهای مختلف باشد.

در مجموع، با توجه به تأثیر بارز مصرف ۷/۶ گرم بر کیلوگرم خاک (معادل با ۱۵ تن در هکتار) بیوچار کود گاوی در افزایش فسفر قابل استفاده خاک، و رساندن آن به حد ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم یعنی حدود ۲/۵ برابر حد بحرانی فسفر برای گندم (۳)، به نظر می‌رسد که حتی مقادیر کمتر مصرف این نوع بیوچار در شرایط مشابه آزمایش بتواند تمام و یا حداقل بخش قابل توجهی از فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین کند.

اثر تیمارها بر پتاسیم قابل استفاده

مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک در اثر مصرف مقادیر معادل کربن (۲/۲ گرم کربن در یک کیلوگرم خاک) از مواد آلی اولیه، از مقدار ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در شاهد به مقدار ۱۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در کود گاوی، ۱۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در کمپوست و ۱۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در لجن فاضلاب رسید (شکل ۴).

جدول ۵- روند تغییرات فسفر قابل خاک در طول مدت خوابانیدن تحت تأثیر تیمارهای مختلف (آزمون دانکن α = ۰/۰۵)

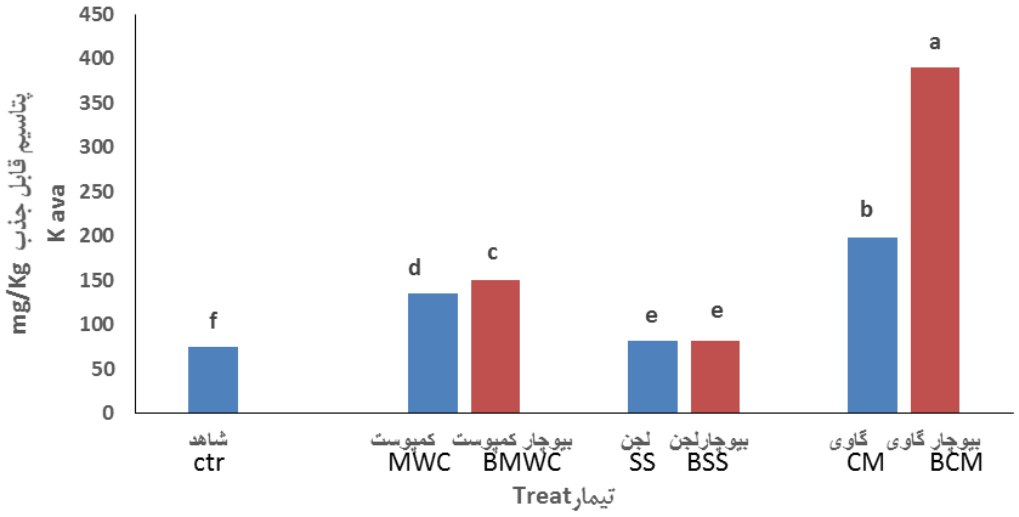
Table 5- The trend of soil available phosphorous during the incubation period (Duncan α=0.05)

	۱۰ روز 10 days	۳۰ روز 30 days	۶۰ روز 60 days	۱۲۰ روز 120 days	۱۸۰ روز 180 days
	P available (mg kg^{-1})				
شاهد Ctrl	6.4 ^{v}	6.4 ^{v}	6.45 ^{v}	6.3 ^{v}	6.4 ^{v}
کمپوست Municipal Waste Compost (MWC)	8.33 ^{u}	11.8 ^{t}	14.9 ^{r}	11.6 ^{t}	11.6 ^{t}
بیوچار کمپوست Biochar of MWC (BMWC)	16.4 ^{p}	16.8 ^{op}	17.2 ^{no}	19.2 ^{l}	17.6 ^{mn}
لجن فاضلاب Sewage Sludge (SS)	15.6 ^{q}	20.8 ^{k}	22.4 ^{ij}	22.8 ^{hi}	23.2 ^{h}
بیوچارلجن فاضلاب Biochar of SS(BSS)	22 ^{j}	24 ^{g}	24.8 ^{f}	27.2 ^{e}	28 ^{d}
کود گاوی Cow Manure(CM)	14.1 ^{s}	13.6 ^{s}	15.6 ^{q}	17.2 ^{no}	18 ^{m}
بیوچار کود گاوی Biochar of C M (BCM)	39.5 ^{c}	40.4 ^{b}	42.4 ^{a}	40.4 ^{b}	40.8 ^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

on the basis Duncan test.Means with the same letter are not significantly different at P≤ 0.05 level

مصرف بیوچارها نیز مقدار پتاسیم خاک را از ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در شاهد به ۳۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار بیوچار کود گاوی، ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار بیوچار کمپوست و ۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار بیوچار لجن فاضلاب رساندند. به عبارت دیگر مصرف مقادیر معادل کربن (۲/۲ گرم کربن در یک کیلوگرم خاک) از هر یک از منابع آلی اعم از مواد آلی اولیه و یا بیوچارهای حاصل از آنها سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به شاهد شد. بیشترین افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک در بین مواد اولیه، ناشی از مصرف کود گاوی و دربین بیوچارها ناشی از مصرف بیوچار کود گاوی بود.



شکل ٤- مقایسه اثر تیمارها بر پتاسیم قابل استفاده خاک (آزمون دانکن α = ۰/۰۵)

Figure 4- The effect of treatments on soil available potassium (Duncan α=0.05)

بیوچار کردن لجن فاضلاب و مصرف آن تفاوتی با مصرف ماده اولیه آن یعنی لجن فاضلاب نداشت. بیوچار کردن کود گاوی سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک از ۱۹۸ به ۳۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک شد. درحالی‌که بیوچار کردن کمپوست مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک را از ۱۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رساند. به عبارت دیگر بیوچار کردن کود گاوی سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک به میزان ۱/۹۷ برابر نسبت به کود گاوی شد. در حالی‌که افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک دراثر مصرف بیوچار کمپوست نسبت به مصرف کمپوست، ۱/۱ برابر بود. با توجه به جدول ۲، مقدار پتاسیم کل موجود در تیمار بیوچار کود گاوی ۲۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است که به فرض قابل استفاده بودن تمام آن و با احتساب پتاسیم قابل استفاده اولیه خاک (۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، مقدار نهایی پتاسیم قابل استفاده خاک ۲۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خواهد بود که حدود ۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم با مقدار اندازه‌گیری شده یعنی۳۹۰، فاصله دارد. این امر می‌تواند احتمالا نشان دهنده تأثیر بیوچار کود گاوی بر فرآیندهای جذب و رهاسازی پتاسیم و هدایت این واکنش‌ها به سمت رهاسازی بیشتر پتاسیم از منابع خاکی آن باشد. در سایر تیمارها نیز افزایش پتاسیم قابل استفاده نسبت به شاهد، می‌تواند ناشی از پتاسیم قابل استفاده موجود در این تیمارها، تأثیر این تیمارها بر رهاسازی پتاسیم از منابع خاکی آن و یا ناشی از تأثیر توأم هر دو عامل باشد.

بررسی روند تغییرات پتاسیم قابل استفاده خاک در مدت انکوباسیون در تیمارهای مختلف (جدول ۶) نشان داد که تحت تأثیر هر یک از تیمارها، تغییرات مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک با گذشت زمان معنی‌دار نبود.

با توجه به اثر بارز مصرف ۷/۶ گرم بر کیلوگرم خاک (معادل با ۱۵ تن در هکتار) بیوچار کود گاوی در افزایش پتاسیم قابل دسترس خاک و رساندن آن به ۳۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم یعنی حدود ۲ برابر حد بحرانی پتاسیم خاک برای گندم (۳)، به نظر می‌رسد که حتی مقادیر مصرف کمتر این نوع بیوچار در شرایط مشابه آزمایش بتواند تمام و یا حداقل بخش قابل توجهی از نیاز پتاسیمی گیاه را مرتفع نماید.

جدول ٦- روند تغییرات پتاسیم قابل خاک در طول مدت خوابانیدن تحت تأثیر تیمارهای مختلف (آزمون دانکن ۰/۰۵ = α)

Table 6- The trend of soil available phosphorous during the incubation period (Duncan α=0.05)

	۱۰ روز 10 days	۳۰ روز 30 days	٦۰ روز 60 days	۱۲۰ روز 120 days	۱۸۰ روز 180 days
	K available (mg kg^{-1})				
شاهد Ctrl	73.7^{e}	76.3 ^{e}	75.7 ^{e}	75 ^{e}	74.3 ^{e}
کمپوست Municipal Waste Compost (MWC)	135^{d}	140 ^{cd}	133 ^{d}	135.3 ^{d}	132.7 ^{d}
بیوچار کمپوست Biochar of MWC (BMWC)	151.7^{c}	149.3 ^{c}	147 ^{cd}	154 ^{c}	151.7^{c}
لجن فاضلاب Sewage Sludge (SS)	79.7^{e}	84 ^{e}	81.7 ^{e}	81.7 ^{e}	79.7 ^{e}
بیوچارلجن فاضلاب Biochar of SS(BSS)	84^{e}	81.3 ^{e}	79.7 ^{e}	81.7 ^{e}	79.7 ^{e}
کود گاوی Cow Manure(CM)	194.7^{b}	199.7^{b}	194.7 ^{b}	204.3 ^{b}	199.3 ^{b}
بیوچار کود گاوی Biochar of C M (BCM)	393.3 ^{a}	381.6 ^{a}	393.7 ^{a}	393 ^{a}	392 ^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

on the basis Duncan test.Means with the same letter are not significantly different at P≤ 0.05 level

نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه از نتایج این تحقیق بر می‌آید تبدیل هر یک از مواد آلی کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کود گاوی به بیوچار و استفاده از آن در شرایط آزمایش، سبب افزایش قابل توجه در مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک نسبت به شاهد و مواد اولیه شده است (بیوچار لجن فاضلاب فقط بر فسفر قابل استفاده خاک مؤثر بود). بنابراین استفاده از بیوچارهای مذکور، می‌تواند پتانسیل بالایی برای کاهش مصرف برخی از کودهای شیمیایی داشته باشد. از این دیدگاه، ترتیب برتری بیوچارها به صورت: بیوچارلجن فاضلاب >

بیوچار کمپوست زباله شهری < بیوچار کود گاوی می‌باشد. بیوچار کردن هر یک از مواد اولیه، تاثیری بر پتانسیل آن‌ها در تغییر pH خاک نداشته است. بجز بیوچار لجن فاضلاب، در دو بیوچار دیگر پتانسیل افزایش شوری خاک بیشتر از مواد اولیه می‌باشد. با توجه به این که بزرگی شوری ایجاد شده خصوصا در خاک‌های غیرشور چندان چشمگیر نیست و گذشته از آن با مدیریت مناسب کشت و کار و آبشویی قابل تعدیل است، بنابراین در مقادیر به‌کار رفته در آزمایش، فاکتور بازدارنده‌ای نخواهد بود. در مجموع با توجه به اینکه اصولا ماندگاری بیوچارها در خاک به مراتب بیشتر از مواد اولیه آن‌ها گزارش شده است، می‌توان از بیوچارهای مناسب از جمله بیوچارهای بکار رفته در این تحقیق، به عنوان پتانسیلی برای ارتقاء پایدار سطح حاصلخیزی خاک و همگام با آن، کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشاورزی کشورمان بهره جست. این امر، انجام تحقیقات گلدانی و مزرعه‌ای گسترده برای خصوصیات خاکی دیگر در شرایط آب و خاک متفاوت، با انواع بیوچارها و محصولات زراعی و باغی مختلف را طلب می‌کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات آقایان مهندس مهدوی، احمدپور، آخوند زاده و بیگی، کارشناسان محترم آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی که در انجام این تحقیق همکاری شایسته‌ای داشتند کمال تشکر و امتنان را دارم.

منابع

1- Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T., and Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD, and grain yield. Field Crops Res, 111:81‐84.
2- Bagreev A., Bandosz T. J., and Locke D. C. 2001. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. Carbon, 39: 1971–1977
3- Balali M. R., Mohajer milani P., Khademi Z., Doroudi M. S., Mashaiekhi M. J., and Malakouti M. J. 2000. Fertilizer recommendation for Wheat. Amozesh Issue. (In Persian).
4- Behnam H., Farrokhian Firouzi A., and Moezzi A. 2015. The effect of biochar and compost of sugarcane on soil organic carbon and Aterbreg's limite. 14th congress of soil science. Rafsanjan. Iran. (In Persian with English abstract).
5- Cetin E., Moghtaderi B., Gupta R., and Wall T. F. 2004. Influence of pyrolysis conditions on the structure and gasification reactivity of biomass chars', Fuel, 83: 2139–2150.
6- Colins H. P. 2011. Biochar– agricultur's black gold: the promise of biochar. Washington State University Extension. Accessible on https://www.ars.usda.gov/ARSUserFile.
7- Glaser B., Guggenberger G., and Zech W. 2004. Amazonian dark earths: Explorations in space and time. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 145–158.
8- Hass A., Gonzalez J.M., Lima I.M., Godwin H.W., Halvorson J.J., and Boyer D.G. 2012. Chicken manure biochar as liming and nutrient source for acid appalachian soil. J. Environ. Qual, 41:1096–1106.
9- Hiemstra T., Mia S., Duhaut P. B., and Molleman B. 2013. Natural and pyrogenic humic acids at goethite and natural oxide surfaces interacting with phosphate. Environ Sci Technol, 47: 9182–9189.
10- Ippolito J.A., Novak J.M., Busscher W.J., Ahmedna M., Rehrah D., and Watts D.W. 2012. Switchgrass biochar aff ects two Aridisols. J. Environ. Qual, 41:1123–1130.
11- Jeffery S., Verheijen FGA., Vander Velde M., and Bastos A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 144: 175–187.
12- Kameyama K., Miyamoto T., Shiono T., and Shinogi Y. 2012. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcaric dark red soil. J. Environ. Qual, 41:1131‐1137.
13- Karer J., Wimmer B., Zehetner F., Kloss S., and Soja G. 2013. Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions. Agr. Food Sci, 22: 390–403.
14- Khavazi K., Balali M. R., Bazargan K., Dawatgar N., Asadi Rahmani H., and Rezaii H. 2014. Integrated Soil Fertility and Nutrition Program, 2014-2025. First volume. Soil and Water Research Institute. Tehran. Iran. (In persian).
15- Kimetu J.M., Lehmann J., Ngoze S.O., Mugendi D.N., Kinyangi J.M., Riha S., Verchot L., Recha J.W., and Pell A.N. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of diff ering quality along a degradation gradient. Ecosystems, 11:726–739.
16- Koutcheiko S., Monreal C.M., Kodama H., McCracken T., and Kotlyar L. 2007. 'Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo-chemical conversion of chicken manure', Bioresource Technology, 98: 2459–2464.

17- Lehmann J., Da Silva J.P., Steiner C., Nehls T., Zech W., and Glaser B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant Soil, 249: 343–357.
18- Lehmann J., and Stephen J. 2009. Biochar for Environmental Management Science and Technology. London. Sterling, VA.
19- Lehmann J., Gaunt J., and Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems a review, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11: 403–427.
20- Lentz R.D., and Ippolito J.A. 2012. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. J. Environ. Qual, 41:1033–1043.
21- Lima H.N., Schaefer C.E.R., Mello J.W.V., Gilkes R.J., and Ker J.C. 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land us of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of western Amazonia. Geoderma, 110: 1–17.
22- Major J., Lehmann J., Rondon M., and Goodale C. 2010. Fate of soil-applied black carbon: Downward migration, leaching, and soil respiration. Glob. Change Biol, 16: 1366‑1379.
23- Mao J.D., Johnson R.L., Lehmann J., Olk D.C., Neves E.G., Thompson M.L., and Schmidt-Rohr K. 2012. Abundant and stable char residues in soils: implications for soil fertility and carbon sequestration. Environ Sci Technol, 46: 9571–9576.
24- Mete F., Mia S., Dijkstra F.A., Abuyusuf M., and Iqbal Hossain A. S. M. 2015. Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil. Pedosphere, 25(5): 713-719.
25- Mukherjee A., and Lal R. 2014. The biochar dilemma. Soil Research, 52: 217-230.
26- Najafi ghiri M. 2014. The effect of different biochars on some soil properties and availability of some nutrients in a calcareous soil. Journal of Soil Researches, 29(2): 351-358.
27- Novak J.M., Lima I., Xing B., Gaskin J.W., Steiner C., Das K.C., Ahmedna M., Rehrah D., Watts D.W., Busscher W.J., and Schomberg H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of Environmental Science, 3: 195–206.
28- Paris O., Zollfrank C., and Zickler G.A. 2005. Decomposition and carbonisation of wood biopolymers a microstructural study of softwood pyrolysis, Carbon, 43: 53–66.
29- Safarzadeh shirazi S., and Rajabi H. 2015. The effect of pistachio residue and its biochar produced in different temperatures on soil pH. 14th congress of soil science. Rafsanjan. Iran. (In Persian with English abstract).
30- Safarzadeh Shirazi S., and Rajabi H. 2015. The effect of pistachio residue and its biochar produced in different temperatures on soil electrical conductivity. 14th congress of soil science. Rafsanjan. Iran. (In Persian with English abstract).
31- Schnell R.W., Vietor D.M., Provin T.L., Munster C.L., and Capareda S. 2012. Capacity of biochar application to maintain energy crop productivity: Soil chemistry, sorghum growth, and runoff water quality effects. J. Environ. Qual, 41: 1044–105.
32- Schnitzer M.I., Monreal C.M., Facey G.A., and Fransham P.B. 2007. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis I. Analyses of chicken manure, biooils and char by C-13 and H-1 NMR and FTIR spectrophotometry. Journal of Environmental Science and Health B, 42: 71–77.
33- Singh B., Singh B.P., and Cowie A.L. 2010 Characterization and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research, 48: 516–525.
34- Sjöström E. 1993. Wood Chemistry: Fundamentals and Applications, second edition, Academic Press, San Diego, US.
35- Smith P. 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies Global Change Biology.
36- Spokas K.A., Novak J.M., Stewart C.E., Cantrell K.B., Uchimiya M., DuSaire M.G., and Ro, K.S. 2011. Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. Chemosphere, 85: 869–882.
37- Stresov V., Patterson M., ZymlaV., Fisher K., Evans T.J., and Nelson P.F. 2007. Fundamental aspects of biomass carbonisation, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 79: 91–100.
38- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K.Y., Downie A., Rust J., Joseph S., and Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant Soil, 327: 235–246.
39- Zabaniotou A., Stavropoulos G., and SkoulouV. 2008. Activated carbon from olive kernels in a two–stage process: Industrial improvement, Bio Resource Technology, 99: 320–326.
40- Zhang H., Chen C., Gray E., Boyd E., Yang H. and Zhang D. 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. Geoderma, 276: 1–6
41- Zolfi M., Rownaghi A.M., Karimian N., Ghasemi R., and Yasrebi J. 2016. The effect of biochars produced of cheeken manure in different temperatures, on chemical properties of a calcareous soil. Journal of Water and Soil Science, 75: 73-86. (In Persian with English abstract).
42- Yoo G., and Kang H. 2012. Eff ects of biochar addition on greenhouse gas emissions and microbial responses in a short-term laboratory experiment. J. Environ. Qual, 41:1193–1202.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 2, May.-Jan. 2018, p. 299-312

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۷، ص. ۳۱۲-۲۹۹

The Influence of Different Biochars and their Feedstock on Some Soil Chemical Properties and Nutrients over the Time in a Calcareous Soil

M. Forouhar[1]- R. Khorassani [*2]- A. Fotovat [3]- H. Shariatmadari [4]- K. Khavazi [5]

Received: 30-07-2017
Accepted: 18-12-2017

Introduction: Global warming is strongly linked to the increase in greenhouse gas emissions to the atmosphere. One of the most efficient ways to reduce the amount of atmospheric CO_2 is to produce a lot of biomass and convert the biomass into a biochar. Biochar is an organic carbon-rich solid that can be obtained from pyrolysis of various organic materials. In other words, biochar can be produced via thermal degradation of many organic materials such as vegetation biomass, animal waste, sewage sludge, etc. in absence or lack of oxygen. Biochar is more resistant to microbial degradation than its feedstock and has a mean resistance time of several decades. In connection with the use of biochar, the most researches have been done in non-fertile and highly weathered soils. The most significant effects of biochar application, have been also observed in strongly acidic soils. In many arid and semi-arid regions of the world, including Iran, the soil organic matter content is low. The lack of organic resources and their instability in the soil are considered as some of the most important challenges in improving soil fertility and plant growth and yield. To improve soil fertility by using insufficient existing organic resources, stabilizing organic matter by converting it into the biochar can be a fundamental strategy. If this strategy is applied in our country with calcareous soils, it is necessary to study the effects of different biochars on calcareous soils from different aspects .In this regard, in the present study, the effect of three types of biochar in a calcareous soil has been investigated in comparison with their feedstock.

Materials and Methods: The effects of three types of biochar and their feedstock in a calcareous soil were investigated in a 6-months period of incubation. A completely randomized design in the form of split plot experiment, was carried out. The main plots were consisted of Control, Municipal Waste Compost (MWC) and its biochar (BMWC), Sewage Sludge (SS) and its biochar (BSS) and Cow Manure (CM) and its biochar (BCW). The sub plots consisted of five sampling times as 10, 30, 60, 120 and 180 days after the beginning of incubation. Application rate of each treatment per kilogram of soil was calculated based on having the same weight of organic carbon content. So that all treatments contained 2.2 grams of organic carbon. After mixing the treatment with soil and adjusting the humidity to the moisture content of the field capacity (FC), they were transferred to the cans (with 3 holes embedded on their doors) and kept at 25°C in the incubator. During the 6-month incubation period, soil moisture was set at FC levels at intervals of two to three days. Sub samples were taken at five times. After air drying the sub samples, the chemical parameters such as EC of 1:2.5 extract, pH of 1:2.5 suspension, available phosphorus (extracted with sodium bicarbonate 0.5N) and available potassium (extracted with ammonium acetate 1N) were measured. After data collection, statistical analysis was performed using SAS software.

Results and Discussion: The soil texture was sandy loam with 21% of clay, 7% of silt and 72% of sand. Soil $CaCO_3$ content and soil organic carbon content was 16% and 0.23% respectively. Available forms of potassium and phosphorous in soil were 76 and 6.3 mg kg^{-1}, respectively. According to the results, under the influence of each treatment, the variation of soil available P, showed a significant increasing trend with the time. Changes in available potassium and soil pH were not significant over the time. Variation of soil salinity with time although showed an increasing trend but was not significant. Comparison of the effects of treatments showed that both biochars and their feedstock could significantly increase the available phosphorus and potassium in soil. In this regard, the effect of biochars was more pronounced than their feedstock. Among the feedstock, ranking for enhancing effect on available P, was SS > CM > MWC and among the biochars, it was BCM > BSS > BMWC. Ranking for enhancing effect on available K, was CM > MWC > SS and BCM > BMWC > BSS among the

1- Ph.D. Student of Ferdowsi University of Mashhad and Instructor of Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2 and 3- Associate Professor and Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: khorasani@um.ac.ir)
4- Professor of Soil Science, Department of Soil Science, Isfahan University of Technology, Iran
5- Professor of Soil Science, Department of Soil Biology, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

feedstock and biochars respectively. The increase in available phosphorus and potassium due to the use of biochars were much higher than that of total phosphorus and total potassium added by biochars. The soil pH decreased as a result of the application of each treatment compared to control. In this regard, the significant difference between biochars and their feedstock were not seen. Probable presence of some amounts of pyrogenic carbon with biochars can be one of the reasons for soil pH reduction. Electrical conductivity of 1:2.5 extract of soil was increased by all treatments compared to the control. Except for BSS, two other biochars significantly increased soil salinity more than their feedstock. This increasing effect on soil salinity can be partially due to the existence of some amount of ash accompanied with biochars.

Conclusions: Application of biochars derived from cow manure, sewage sludge or municipal waste compost in this experimental conditions, led to a significant increase in the amount of available phosphorus and potassium in soil compared to control and their feedstock. Therefore, the use of these biochars can have a high potential for reducing the consumption of some chemical fertilizers. From this point of view, the order of the superiority of the coal was as follows: biochar of cow manure > biochar of municipal waste compost> biochar of sewage sludge. The conversion of any of these feedstock to biochar did not have an effect on their potential for soil pH changes. Except for biochar of sewage sludge, in two other biochar, the potential for increasing soil salinity was higher than the feedstock. Considering that the durability of biochar in soil is much higher than that of its feedstock, it is possible to use suitable biochars such as those examined in this study as a great potential for the sustainable improvement of soil fertility and for reducing the use of chemical fertilizers in our country's agriculture. This requires extensive field researches for other soil properties in different soil and water conditions, with different kinds of biochars and crops.

Keywords: Biochar, Manure, Municipal waste compost, Sewage sludge