Archive of SID

تاثیر بیوچار باگاس نیشکر بر فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی یک خاک آهکی

اکبر کریمی[۱*]، عبدالامیر معزی[۲]، مصطفی چرم[۳]، نعیمه عنایتی ضمیر[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸)

چکیده

کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی خاک را تحت تاثیر قرار دهد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر بیوچار تهیه شده از باگاس نیشکر در دماهای مختلف بر تغییرات فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های میکروبی یک خاک آهکی بود. به این منظور بیوچارهای تهیه شده در دماهای ۲۰۰ (B200)، ۳۵۰ (B350) و ۵۰۰ (B500) درجه سلسیوس در سطوح ۱ و ۲ درصد با نمونه خاک ترکیب شدند. نمونه‌ها به‌مدت سه ماه در شرایط انکوباسیون و در دمای ثابت (۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. در پایان آزمایش برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک و غلظت قابل استفاده عناصر غذایی در خاک اندازه‌گیری شدند. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور نوع و سطح کاربرد بیوچار و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد کاربرد هر سه نوع بیوچار سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (۱/۹-۱۲/۹٪)، کربن آلی (۵۴-۱۹۲٪)، غلظت قابل استفاده فسفر (۲/۰-۷۶٪)، پتاسیم (۵/۲-۱۸/۱٪) و منگنز (۱۲/۶-۱۷/۵٪)، شد. کاربرد بیوچار B500 غلظت قابل استفاده آهن، روی و مس در خاک را کاهش داد، اما کاربرد بیوچار B200 سبب افزایش معنی‌دار غلظت قابل استفاده این عناصر غذایی در خاک شد. کاربرد بیوچار همچنین تنفس میکروبی (۲۰/۰-۱۰۸٪)، تنفس برانگیخته با سوبسترا (۱۶/۵-۱۴۲٪)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) (۸/۲-۱۲۴٪) و فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز (۱۹/۳-۱۲۹٪) و کاتالاز (۳۴/۴-۱۷۸٪) در خاک را افزایش داد. تاثیر سطح کاربرد بیوچار در سطح ۲ درصد در تغییرات ویژگی‌های خاک بیش‌تر از سطح ۱ درصد بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد بیوچار تهیه شده از باگاس نیشکر در دماهای گرماکافت پایین (۲۰۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس)، بویژه ۲۰۰ درجه سلسیوس می‌تواند اصلاح کننده آلی مناسبی برای بهبود ماده آلی خاک، فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک باشد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کننده‌های آلی، دمای گرماکافت، عناصر غذایی، فعالیت میکروبی

کریمی ا.، معزی ع.، چرم م.، عنایتی ضمیر ن. ۱۳۹۹. تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر فراهمی عناصر غذایی و یژگی‌های زیستی یک خاک آهکی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸. شماره ۱. صفحه : ۱-۱۷

۱- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز (مکاتبه کننده)
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
* پست الکترونیک: akbar.karimi84@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

کمبود مواد آلی و پیامدهای نامطلوب ناشی از آن یکی از مشکلات اصلی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک است. برای حفظ کیفیت و باروری خاک و بهبود ویژگی-های آن افزودن مواد آلی به خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک امری اجتناب ناپذیر است (El-Naggar *et al*., 2019). یکی از اصلاح کننده‌های آلی که در سال‌های اخیر کاربرد آن در خاک مورد توجه قرار گرفته است، بیوچار می‌باشد. بیوچار یک ماده متخلخل و غنی از کربن است که از تجزیه حرارتی زیست‌توده‌ها در دماهای مختلف (۲۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) و در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود تهیه می‌شود (Lian & Xing, 2017; Yu *et al*., 2019).

افزودن بیوچار به خاک به‌عنوان یک منبع کربن در اراضی کشاورزی راهکار مناسبی برای تثبیت کربن آلی خاک و ترسیب بلند مدت کربن خاک و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (Qi *et al*., 2017; El-Naggar *et al*., 2019). همچنین بیوچار به‌دلیل ساختار متخلخل به‌عنوان جاذب آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین می‌تواند در پالایش خاک‌ها و آب‌های آلوده بسیار مؤثر باشد (Wang *et al*., 2018; Yuan *et al*., 2019). افزون بر این، بیوچار به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک با تأثیر بر ویژگی-ها و فرآیندهای گوناگون خاک می‌تواند در بهبود ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک (Qi *et al*., 2017; Yuan *et al*., 2019; Yu *et al*., 2019)، فعالیت میکروبی خاک (Song *et al*., 2018) و کیفیت و حاصلخیزی خاک و به-دنبال آن افزایش رشد و عملکرد گیاهان مؤثر باشد (Yang *et al*., 2017; El-Naggar *et al*., 2019).

تاثیر بیوچار بر فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک با توجه به نوع خاک، نوع زیست‌توده بیوچار و شرایط گرماکافت آن از جمله دمای گرماکافت و سطح کاربرد بیوچار متفاوت می‌باشد (Yu *et al*., 2019; Vahedi & Rasouli-Sadaghiani, 2019). خادم و همکاران (Khadem *et al*., 2018) گزارش کردند افزودن بیوچار ذرت تهیه شده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به دو نوع خاک آهکی شنی و رسی سبب افزایش pH آن‌ها شد، در حالی که کاربرد همان نوع بیوچار تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس سبب کاهش pH خاک‌ها شد. نعیم و همکاران (Naeem *et al*., 2017) گزارش کردند کاربرد بیوچار کاه برنج و گندم تهیه شده در دماهای مختلف (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) سبب افزایش غلظت قابل استفاده فسفر و پتاسیم در یک خاک آهکی شد. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (Moradi *et al*., 2017) نشان داد در اثر افزودن بیوچار کاه و کلش گندم (تهیه شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس) به یک خاک آهکی غلظت قابل استفاده فسفر، پتاسیم و منگنز افزایش یافت در حالی که غلظت قابل استفاده آهن کاهش یافت. آن‌ها همچنین گزارش کردند با افزایش سطح کاربرد بیوچار تغییرات فراهمی عناصر غذایی نیز افزایش یافت.ویژگی‌های زیستی و فعالیت آنزیمی خاک از مهم-ترین شاخص‌های کیفیت خاک می‌باشند و افزودن اصلاح کننده‌های آلی خاک مانند بیوچار احتمالاً می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود فعالیت میکروبی و کیفیت خاک باشد (Song *et al*., 2018; Khadem & Raiesi, 2017a). تاثیر بیوچار بر فعالیت ریزجانداران و رفتار بیوشیمیایی خاک نیز به نوع و ویژگی‌های خاک، نوع زیست‌توده بیوچار، شرایط گرماکافت بیوچار از جمله دمای گرماکافت و همچنین مقدار بیوچار استفاده شده بستگی دارد (Beheshti *et al*., 2018; Song *et al*., 2018). در حالی که برخی از پژوهش‌گران گزارش کردند افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شود (Khadem & Raiesi, 2017a; Beheshti *et al*., 2018; Song *et al*., 2018)، اما برخی دیگر از پژوهش‌گران گزارش کردند افزودن بیوچار اثر بازدارنده بر روی فعالیت میکروبی خاک داشته است (Paz-Ferreiro *et al*., 2012; Mukherjee *et al*., 2016). لوو و همکاران (Luo *et al*., 2013) با انجام پژوهشی گزارش کردند کاربرد بیوچار بقایای گیاه قمیش در دمای گرماکافت ۳۵۰ درجه سلسیوس به‌طور معنی‌داری کربن زیست‌توده میکروبی خاک را افزایش داد، در حالی که کاربرد بیوچار از همان زیست‌توده تهیه شده در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس، کربن زیست‌توده میکروبی خاک را کاهش داد. بهشتی و همکاران (Beheshti *et al*., 2018) با بررسی تاثیر بیوچار تهیه شده از کاه گندم در دو دمای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس بر ویژگی‌های زیستی و فعالیت آنزیمی در یک خاک آهکی گزارش کردند کاربرد بیوچارهای تهیه شده در هر دو دما سبب افزایش کربن تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم دهیدروژناز شد. باگاس نیشکر مواد پسماندهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

نیشکر بعد از استخراج عصاره‌ی آن است. سالانه بیش از ۴/۳ میلیون تن باگاس نیشکر در کشور و عمدتاً در استان خوزستان تولید می‌شود (Najafi *et al*., 2009). بخش عمده باگاس نیشکر انبار شده و یا سوزانده می‌شود. باگاس انبار شده به سبب خطر خودسوزی، تهدیدی برای سلامت محیط زیست می‌باشد (Khanmohammadi *et al*., 2016). مطالعات زیادی در مورد تاثیر افزودن بیوچار بر فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک با مقدار مواد آلی بسیار کم انجام نشده است (El-Naggar *et al*., 2019). بنابراین با توجه به حجم بالای باگاس نیشکر و کمبود ماده آلی در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک ایران، هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه تاثیر بیوچارهای تهیه شده از باگاس نیشکر در دماهای مختلف گرماکافت (۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه) بر فراهمی عناصر غذایی و برخی ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی یک خاک آهکی بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از زیست‌توده باگاس نیشکر برای تهیه بیوچارها استفاده شد. زیست‌توده باگاس نیشکر از کشت و صنعت نیشکر دهخدا در شهرستان اهواز تهیه شد. باگاس نیشکر ابتدا هوا خشک شده و پس از آسیاب کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شدند (Singh *et al*., 2017). بیوچارهای باگاس نیشکر بر اساس روش پیشنهادی کانترل و همکاران (Cantrell *et al*., 2012) در شرایط بدون اکسیژن در کوره الکتریکی و در دماهای ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲ ساعت و با نرخ افزایش دمای ۵ درجه سلسیوس در دقیقه تهیه شدند. برای ایجاد شرایط حداقل اکسیژن از جریان گاز نیتروژن استفاده شد (Cantrell *et al*., 2012). سپس ویژگی‌های بیوچارها اندازه‌گیری شد. pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ بیوچار به آب دیونیزه (Singh *et al*., 2017)، عملکرد، درصد خاکستر و درصد کربن تثبیت شده به‌روش سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2017)، ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش اصلاح شده جانشینی با استات آمونیوم (Domingues *et al*., 2017) و محتوای کربن، نیتروژن، هیدروژن و گوگرد با دستگاه CHNS analyzers (Vario EL III) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در بیوچارها از روش سوزاندن خشک و هضم نمونه‌های خاکستر در اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه استفاده شد (Singh *et al*., 2017). در عصاره‌های تهیه شده، غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (Corning 410)، غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (PD-Apel 303 UV) و غلظت آهن، منگنز، روی و مس با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu-6300 AA) اندازه‌گیری شد.

نمونه خاک مورد مطالعه از زمین‌های زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا-خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (Carter & Gregorich, 2008). غلظت عناصر غذایی در خاک (Carter & Gregorich, 2008) و همچنین غلظت قابل استفاده عناصر غذایی آهن، منگنز، مس و روی در خاک با استفاده از عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری قرائت شد (Lindsay & Norvel, 1978). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و غلظت اولیه عناصر در خاک مطالعه شده در جدول ۱ آمده است. خاک مورد مطالعه دارای بافتی لومی، آهکی، pH بالا، غیر شور و دارای مقدار ماده آلی کم بود (جدول ۱). این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور نوع بیوچار (در چهار سطح شامل بدون کاربرد بیوچار یا شاهد (C) و بیوچارهای باگاس نیشکر تهیه شده در دماهای ۲۰۰ (B200)، ۳۵۰ (B350) و ۵۰۰ (B500) درجه سلسیوس) و سطح بیوچار (در دو سطح شامل ۱ و ۲ درصد وزنی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. بیوچارها در دو سطح ۱ و ۲ درصد وزنی به‌طور یکنواخت با ۳۰۰ گرم خاک مخلوط شدند و در ظروف پلاستیکی منفذدار (جهت تبادل تهویه‌ای) نگه‌داری شدند. رطوبت نمونه‌ها (مخلوط خاک - بیوچار) با افزودن آب مقطر به‌روش ا سپری، در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تنظیم شد و تا پایان آزمایش به‌صورت وزنی کنترل گردید. نمونه‌ها به مدت ۳ ماه در شرایط انکوباسیون و در دمای ثابت (۲±۲۵ درجه سلسیوس) نگه‌داری شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some physico-chemical properties of the studied soil.

Property	Unit	Value
Sand	%	40.6
Silt	%	38.0
Clay	%	21.4
OC	%	0.41
CCE	%	41.3
CEC	$cmol_c\ kg^{-1}$	12.6
EC	$dS\ m^{-1}$	2.45
pH	-	7.7
Total N	$g\ kg^{-1}$	0.36
Olsen P	$mg\ kg^{-1}$	13.5
NH_4OAc-extractable K	$mg\ kg^{-1}$	273.2
DTPA-extractable Fe	$mg\ kg^{-1}$	1.25
DTPA-extractable Mn	$mg\ kg^{-1}$	4.12
DTPA-extractable Zn	$mg\ kg^{-1}$	0.51
DTPA-extractable Cu	$mg\ kg^{-1}$	0.73

OC، CCE، CEC و EC به‌ترتیب کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و قابلیت هدایت الکتریکی

OC, CCE, CEC and EC are organic carbon, carbonate calcium equilibrium, cation exchange capacity and electrical and respectively

پس از سه ماه نمونه‌های خاک تیمارهای مختلف به دو بخش تقسیم شدند. بدین ترتیب که بخشی از هر نمونه برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی و فراهمی عناصر غذایی در خاک، هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. همچنین بخش دیگر از نمونه خاک در هر تیمار برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی خاک در یخچال نگه‌داری شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH و EC نمونه‌ها در عصاره ۱:۱ خاک به آب دیونیزه، CEC به روش استات سدیم (Carter & Gregorich, 2008) و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (Nelson & Sommers, 1996). فسفر قابل استفاده خاک با استفاده از بی‌کربنات سدیم نیم‌مولار استخراج و به‌روش رنگ سنجی اندازه‌گیری شد (Olsen & Sommers, 1982). پتاسیم قابل استفاده خاک به‌روش استخراج با استات آمونیوم یک مولار اندازه‌گیری شد (Carter & Gregorich, 2008). غلظت آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده در خاک با استفاده از DTPA عصاره‌گیری شد و غلظت عناصر در عصاره‌های تهیه شده توسط دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری (Shimadzu-6300 AA) اندازه‌گیری شد (Lindsay & Norvel, 1978). همچنین برای ارزیابی تاثیر تیمارهای بیوچار بر ویژگی‌های زیستی خاک تنفس میکروبی خاک با روش گردآوری CO_2 آزاد شده در هیدروکسید سدیم و تیتراسیون برگشتی مقدار باقی‌مانده‌ی آن با اسیدکلریدریک، اندازه‌گیری شد (Anderson, 1982،). تنفس برانگیخته با سوبسترا با استفاده از گلوکز به‌عنوان سوبسترا اندازه‌گیری شد (Alef & Nannipieri, 1995) کربن زیست‌توده میکروبی خاک به روش تدخین (گازدهی) با کلروفرم و استخراج (عصاره‌گیری) با محلول سولفات پتاسیم اندازه‌گیری شد (Jenkinson & Ladd, 1981). همچنین فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز (Alef & Nannipieri, 1995) و کاتالاز (Liu *et al*., 2008) در خاک اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای GENSTAT و SPSS انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج در صد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های بیوچارها

ویژگی‌های بیوچارها در جدول ۲ آمده است. به‌طور کلی در اثر تغییر دمای گرماکافت تمامی ویژگی‌های بیوچارها

www.SID.ir

Archive of SID

تغییر کردند (جدول ۲). بدین‌ترتیب که کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر pH، EC، درصد خاکستر، فسفر، پتاسیم و روی به‌ترتیب مربوط به بیوچارهای تهیه شده در دماهای ۲۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس بود (جدول ۲). بیش‌تر بودن pH و EC در بیوچار B500 می‌تواند به‌دلیل بیش‌تر بودن تجمع کاتیون‌های قلیایی از جمله پتاسیم در این بیوچار باشد. بیش‌تر بودن غلظت فسفر، پتاسیم و روی در این بیوچار را می‌توان به کاهش عملکرد بیوچار و افزایش تغلیظ عناصر در آن نسبت داد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر CEC، درصد هیدروژن و درصد اکسیژن و نسبت‌های اتمی هیدروژن به کربن (H/C) و اکسیژن به کربن (O/C) به‌ترتیب مربوط به بیوچارهای B200 و B500 بود (جدول ۳). کاهش درصد اکسیژن و هیدروژن و نسبت‌های O/C و H/C، به این دلیل است که در دماهای بالای گرماکافت به‌دلیل فرآیندهای آب‌زدایی و هیدروژن‌زدایی و همچنین خروج سلولز، لیگنین و پکتین که از اجزای اصلی تشکیل دهنده زیست‌توده‌های آلی می‌باشند، مقادیری از اکسیژن و هیدروژن از زیست توده خارج می‌شود (Domingues *et al*., 2017; Leng *et al*., 2019). مقادیر کم نسبت‌های H/C و O/C بیوچارها نشان‌دهنده پایدار بودن کربن آن‌ها می‌باشد (Leng *et al*., 2019). نتایج آنالیز عنصری بیوچارها نشان داد بیش‌ترین درصد نیتروژن و کربن مربوط به بیوچار B350 بود (جدول ۳). پایین بودن کربن و نیتروژن در بیوچار B500 در مقایسه با B350 احتمالاً به دلیل خروج کربن از فاز جامد بیوچار و خروج نیتروژن در اثر انتشار آمونیاک و سایر ترکیبات فرار نیتروژن‌دار باشد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیوچارهای استفاده شده در این پژوهش

Table 2. Selected physico-chemical properties of biochars used in this study.

Property	Unit	200˚C Biochar (B200)	350˚C Biochar (B350)	500˚C Biochar (B500)
pH (1:10)	-	6.24	8.59	9.72
EC (1:10)	dS m^{-1}	0.860	0.953	1.056
CEC	$cmol_c$ kg^{-1}	33.85	29.92	22.85
Yield	%	77.11	47.53	43.54
Ash	%	12.40	29.47	54.73
Fixed carbon	%	8.39	22.31	31.67
Volatile matter	%	79.11	37.11	22.00
C	%	45.15	56.11	39.08
H	%	5.729	3.515	1.293
N	%	0.375	0.805	0.693
O	%	36.87	9.67	3.78
H/C	-	0.127	0.063	0.033
O/C	-	0.805	0.180	0.107
P	g kg^{-1}	0.156	0.234	0.786
K	g kg^{-1}	0.816	2.47	6.55
Fe	mg kg^{-1}	129.2	251.1	460.8
Mn	mg kg^{-1}	25.3	58.7	146.2
Zn	mg kg^{-1}	23.5	40.7	62.5
Cu	mg kg^{-1}	5.1	11.3	19.6

ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی نوع و سطح بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر pH، EC، CEC و کربن آلی خاک معنی‌دار بود (جدول ۳). روند تغییرات pH خاک در اثر کاربرد بیوچارهای تهیه شده در دماهای مختلف متفاوت بود. بدین ترتیب که کاربرد بیوچار B200 در سطوح ۱ و ۲ درصد سبب کاهش معنی‌دار pH خاک

www.SID.ir

Archive of SID

شد (شکل ۱). در حالی‌که کاربرد هر دو سطح ۱ و ۲ درصد بیوچار B500 سبب افزایش معنی‌دار pH خاک شد. همچنین اگرچه کاربرد بیوچار B350 در سطح ۱ درصد اثر معنی‌داری بر pH خاک نداشت. اما کاربرد آن در سطح ۲ درصد سبب افزایش معنی‌دار pH خاک شد (جدول ۴). به‌طور کلی نتایج نشان داد کاربرد بیوچارها در سطح ۲ درصد در مقایسه با سطح ۱ درصد اثر بیش‌تری بر تغییرات pH خاک داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر pH، EC، CEC و کربن آلی خاک

Table 3. Variance analysis (mean squares) of the treatments effects on soil pH, EC, CEC and OC

S.O.V	df	pH	EC	CEC	OC
Biochar type	2	0.281**	0.002**	0.874**	0.165**
Biochar rate	1	0.005*	0.003**	0.674**	0.122**
Type × Rate	3	0.013**	0.001**	0.269*	0.001**
Error	16	0.001	0.0001	0.048	0.0001
CV (%)		0.30	0.45	1.39	1.64

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

* and ** are significant at the probability levels of 0.05 and 0.01, respectively

EC، CEC و OC به‌ترتیب قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی

EC, CEC and OC are electrical conductivity, cation exchange capacity and organic carbon respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک در تیمارهای مختلف کاربرد بیوچار

Table 4. Mean comparison of soil chemical properties at different treatments of biochar application

Biochar type	Biochar rate	pH	EC (dS m^{-1})	CEC ($cmol_c$ kg^{-1})	OC (%)
Control	-	7.60 ± 0.02^{c}	1.481 ± 0.007^{d}	12.63 ± 0.24^{d}	0.42 ± 0.02^{f}
B200	1	7.43 ± 0.03^{e}	1.572 ± 0.016^{c}	13.32 ± 0.12^{bc}	0.65 ± 0.01^{e}
	2	7.35 ± 0.03^{d}	1.578 ± 0.011^{c}	14.16 ± 0.24^{a}	0.83 ± 0.02^{d}
B350	1	7.64 ± 0.02^{c}	1.593 ± 0.005^{b}	13.33 ± 0.23^{bc}	1.01 ± 0.02^{b}
	2	7.72 ± 0.02^{b}	1.605 ± 0.012^{b}	13.60 ± 0.11^{b}	1.23 ± 0.02^{a}
B500	1	7.77 ± 0.02^{b}	1.602 ± 0.011^{b}	12.87 ± 0.10^{d}	0.76 ± 0.01^{e}
	2	7.86 ± 0.03^{a}	1.640 ± 0.019^{a}	13.26 ± 0.12^{c}	0.94 ± 0.01^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (P<0.05) ندارند.

Means similar letter(s) are not significantly different in each column according to the Duncan's -test (P<0.05)

EC، CEC و OC به‌ترتیب قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی

EC, CEC and OC are electrical conductivity, cation exchange capacity and organic carbon respectively

افزایش pH خاک بر اثر کاربرد بیوچار B500 (جدول ۴)، می‌تواند به‌دلیل pH بالای بیوچار و مقدار بیش‌تر کاتیون-های قلیایی مانند پتاسیم و سدیم در بخش خاکستر آن باشد (جدول ۳). همچنین هیدروکسیدها و کربنات‌های موجود در بیوچار می‌توانند سبب افزایش pH خاک شوند (Al- Wabel *et al*., 2017). کاهش pH خاک در تیمار B200 می‌تواند به این دلیل باشد که این نوع بیوچار دارای گروه‌های عامل اسیدی زیادی بوده و اکسیداسیون بیوچار در خاک سبب آزاد شدن گروه‌های عاملی اسیدی در خاک و به‌دنبال آن سبب کاهش pH خاک می‌شود (Gul *et al*., 2017). همچنین بیوچارهای تهیه شده در دماهای گرماکافت پایین به‌دلیل اکسیداسیون و تجزیه مولکول-های آلی کوچک آن‌ها، افزایش کربن آلی محلول خاک و به‌دنبال آن افزایش فعالیت میکروبی و تولید اسیدهای آلی می‌توانند در کاهش pH خاک موثر باشند (Liu & Zhang, 2012). انحلال کربنات‌ها و محدود شدن هیدرولیز آن‌ها نیز می‌تواند از دلایل کاهش pH خاک‌های آهکی تیمار شده با بیوچارهای تهیه شده در دمای پایین باشد (Liu & Zhang, 2012). خادم و همکاران (Khadem *et al*., 2018) گزارش کردند کاربرد سطوح

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۵ و ۱ درصد وزنی بیوچار تهیه شده از ذرت در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی‌دار pH یک خاک رسی آهکی شد، در حالی‌که کاربرد این سطوح بیوچارهای تهیه شده در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش معنی‌دار pH خاک شد.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد تمامی تیمارهای بیوچار سبب افزایش معنی‌دار EC خاک (۶/۱ تا ۱۰/۷ درصد) شد (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار EC خاک مربوط به تیمار B500 در سطح کاربرد ۲ درصد بود (جدول ۴). افزایش EC خاک در اثر کاربرد بیوچارها می‌تواند به‌دلیل آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی موجود در ساختار بیوچار در محلول خاک باشد. کیمو و همکاران (Cimo *et al*. 2014) گزارش کردند در اثر کاربرد بیوچار در خاک، آزادشدن کاتیون‌های قلیایی که پیوند ضعیفی با ساختار بیوچار دارند می‌تواند EC خاک را افزایش دهد. نتایج مطالعه عثمان و همکاران (Usman *et al*., 2016) نیز نشان داد کاربرد بیوچار بقایای کنوکارپوس سبب افزایش معنی‌دار EC یک خاک قلیایی شد.

در اثر کاربرد تمامی تیمارهای بیوچار CEC خاک افزایش یافت (جدول ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار افزایش CEC خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای B200 در سطح کاربرد ۲ درصد (۱۱/۰ درصد) و B500 در سطح کاربرد ۱ درصد (۱/۹ درصد) بود. تاثیر کاربرد بیوچارها در سطح ۲ درصد در افزایش CEC خاک بیش‌تر از تیمارهای سطح ۱ درصد بود (جدول ۴). به‌طور کلی ترتیب CEC در تیمارهای مختلف بیوچار بدین ترتیب بود: B500 < B350 < B200 < Control. دلیل افزایش CEC خاک در اثر کاربرد بیوچار، سطح ویژه بالای بیوچار و ساختار متخلخل آن و همچنین تراکم بار سطحی و وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار از جمله کربونیل، کربوکسیل بر روی سطح بیوچار می‌باشد (Laird *et al*., 2010). به‌طور مشابه با این پژوهش نعیم و همکاران (Naeem *et al*., 2017) گزارش کردند افزودن بیوچارهای کاه گندم و کاه برنج تهیه شده در دماهای مختلف (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) به یک خاک آهکی سبب افزایش معنی‌دار CEC خاک شد. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد که بیوچارهای تهیه شده در دماهای پایین‌تر تاثیر بیش‌تری در افزایش CEC خاک داشتند. لایرد و همکاران (Laird *et al*., 2010) نیز با انجام پژوهشی گزارش کردند CEC خاک در اثر کاربرد بیوچار چوب بلوط در سطوح ۱ و ۲ درصد وزنی، بیش از ۲۱ درصد افزایش یافت. کربن آلی کل خاک در تمامی تیمارهای کاربرد بیوچارهای به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). افزایش کربن آلی کل خاک در اثر افزودن بیوچار به خاک به‌دلیل درصد بالای کربن بیوچارهای می‌باشد، که توسط بسیاری از پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (Ippolito *et al*., 2016; Naeem *et al*., 2017; Khadem & Raiesi, 2017a; Moradi *et al*., 2017). بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک در سطح کاربرد ۲ درصد در تیمار B350 (۱/۳۲ درصد) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد (۰/۴۲ درصد) مشاهده شد (جدول ۴). بیشتر بودن کربن آلی خاک در تیمارهای ۱ و ۲ درصد B350 به‌دلیل بیشتر بودن مقدار کربن آلی این نوع بیوچار بود (جدول ۲). کربن آلی خاک در تیمارهای سطح کاربرد ۲ درصد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمارهای سطح کاربرد ۱ درصد بود (جدول ۴). به‌طور کلی ترتیب کربن آلی در تیمارهای مختلف به‌صورت Control < B200 < B500 < B350 بود. با این‌که درصد کربن در بیوچار B200 بیش‌تر از B500 بود، اما کربن آلی خاک در تیمارهای B500 بیش‌تر از B200 بود. این نتیجه به دلیل بیش‌تر بودن کربن تثبیت شده و همچنین نسبت پایین H/C و O/C در بیوچار B500 در مقایسه با B200 بود (جدول ۲). در دماهای بالای گرماکافت در اثر واکنش‌های دهیدراته شدن و دکربوکسیله شدن گروه‌های عامل سطحی بیوچارها خارج شده و ساختارهای آروماتیک کربن تشکیل می‌شوند که پایداری بسیار بالایی در خاک دارند (Domingues *et al*., 2017; Leng *et al*., 2019).

فراهمی عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نوع بیوچار، سطح کاربرد بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر، پتاسیم و روی قابل استفاده خاک معنی‌دار بود. در حالی‌که تنها اثر اصلی نوع بیوچار بر غلظت منگنز و مس قابل استفاده خاک معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اثر اصلی نوع بیوچار و اثر متقابل نوع و سطح کاربرد آن بر غلظت آهن قابل استفاده خاک معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در تمامی تیمارهای بیوچار (بجز تیمار سطح ۱ درصد B200) مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک بیش‌تر از تیمار شاهد بود

www.SID.ir

Archive of SID

(شکل ۱). بیش‌ترین و کمترین مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای B500 و شاهد بود. بیوچار B500 در مقایسه با بیوچارهای B350 و B200 تاثیر بیش‌تری در افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک داشت (شکل ۱). به‌طوری که کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار B500 فسفر قابل استفاده خاک را به‌ترتیب ۳۴/۴ و ۷۶/۳ درصد و پتاسیم قابل استفاده خاک را به‌ترتیب ۱۱/۶ و ۱۸/۱ درصد افزایش داد (شکل ۱).

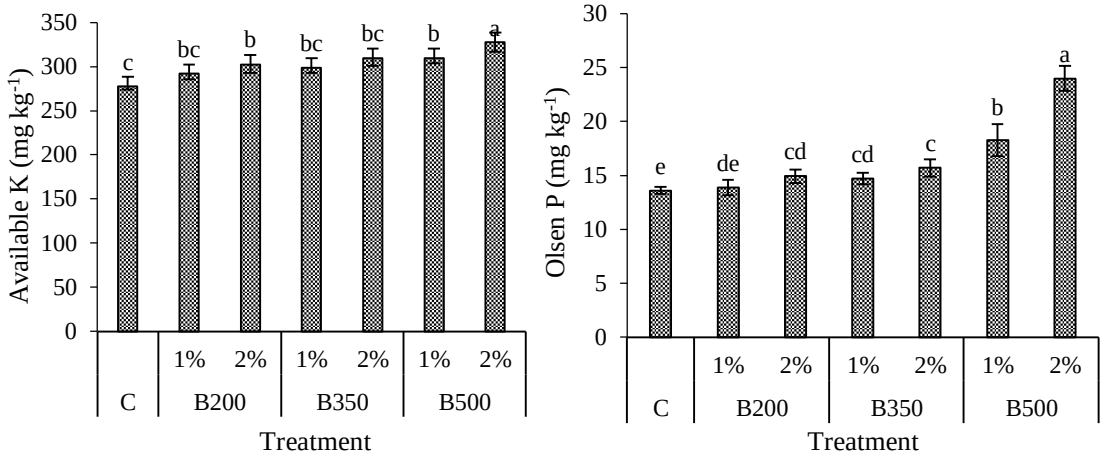
جدول۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر غلظت قابل استفاده عناصر غذایی در خاک

Table 5. Variance analysis (mean squares) of the treatments effects on available concentration of nutrient in soil

S.O.V	DF	Olsen-P	Available K	DTPA-extractable			
				Fe	Mn	Zn	Cu
Biochar type	2	80.97**	698.2**	0.103**	0.102**	0.059**	0.019**
Biochar rate	1	22.92**	922.4**	0.001^{ns}	0.018^{ns}	0.002**	0.002^{ns}
Type × Rate	2	11.07**	29.22*	0.010*	0.008^{ns}	0.002**	0.001^{ns}
Error	12	0.763	7.464	0.003	0.009	0.0001	0.001
CV (%)		4.63	2.97	6.72	4.86	5.62	8.03

^{ns}، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

^{ns,*} and ** are significant at the probability levels of 0.05 and 0.01, respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین غلظت قابل استفاده فسفر و پتاسیم خاک در تیمارهای مختلف کاربرد بیوچار

Figure 1. Mean comparison of soil available concentration of P and K at different biochar treatments

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (P<0.05) ندارند.

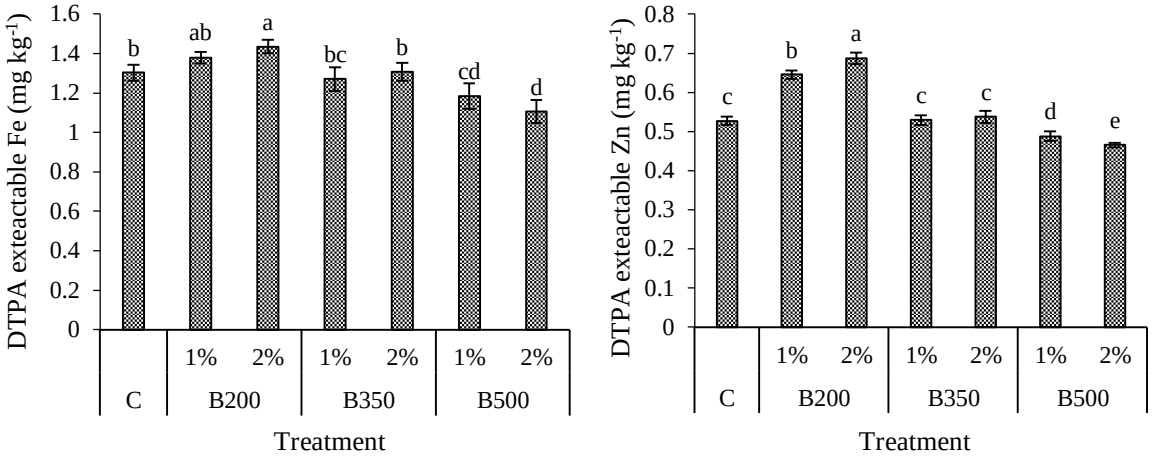
Means similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's -test (P<0.05)

دلیل تاثیر بیش‌تر تیمار B500 در افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک (شکل ۱) می‌تواند غلظت بیش‌تر فسفر و پتاسیم آن در مقایسه با تیمارهای B200 و B350 (جدول ۲) و آزاد شدن بخشی از این عناصر در خاک باشد. افزایش فسفر قابل استفاده خاک در اثر کاربرد بیوچارها می‌تواند به‌دلیل کاهش مکان‌های جذب فسفر در خاک باشد. چرا که بیوچار می‌تواند با کاتیون‌های خاک که فسفر را جذب می کنند، پیوند برقرار کرده و با کاهش مکان‌های جذب فسفر در خاک، غلظت قابل استفاده آن در خاک را افزایش دهد (Gao *et al.*, 2019). با وجود افزایش pH خاک در تیمار B500 (جدول ۴)، فسفر قابل استفاده خاک نیز افزایش یافت (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فسفر قابل استفاده در خاک‌های آهکی تیمارشده با بیوچار می‌تواند توسط دیگر فرآیندهای خاک کنترل شود. نتایج مطالعات نشان داده افزایش پتاسیم قابل استفاده در خاک در اثر کاربرد بیوچار به‌دلیل آزاد شدن پتاسیم موجود در محتوای خاکستر بیوچارها می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج مرادی و همکاران

www.SID.ir

Archive of SID

(Moradi *et al.*, 2017) که گزارش کردند کاربرد بیوچارهای ضایعات هرس سیب و انگور و کاه و کلش گندم سبب افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده در یک خاک آهکی شد، مشابه بود. نعیم و همکاران (Naeem *et al.*, 2017) نیز گزارش کردند در اثر افزودن بیوچار کاه گندم و برنج به یک خاک آهکی فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین نتایج پژوهش سونگ و همکاران (Song *et al.*, 2018) نشان داد کاربرد بیوچار ذرت در یک خاک آهکی سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم قابل استفاده خاک شد. نتایج این پژوهش برخلاف نتایج خادم و همکاران (Khadem *et al.*, 2018) بود که گزارش کردند افزودن بیوچار ذرت به دو نوع خاک آهکی شنی و رسی سبب کاهش فسفر قابل استفاده خاک شد. افزودن بیوچارهای B200 و B500 به‌ترتیب سبب افزایش و کاهش معنی‌دار غلظت آهن، روی (شکل ۲) و مس قابل استفاده خاک (شکل ۳) شد. در حالی‌که کاربرد تیمارهای B350 اثر معنی‌داری بر غلظت شکل قابل استفاده این عناصر در خاک نداشت. در اثر کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار B200 غلظت آهن قابل استفاده خاک به‌ترتیب ۶/۰ و ۱۰/۱ درصد و غلظت روی قابل استفاده خاک به‌ترتیب ۲۱/۴ و ۳۰/۲ درصد افزایش یافت (شکل ۲). همچنین در تیمارهای ۱ و ۲ درصد بیوچار B500 در مقایسه با تیمار شاهد غلظت آهن قابل استفاده خاک به‌ترتیب ۹/۱، ۱۵/۰ درصد و غلظت روی قابل استفاده خاک به‌ترتیب ۷/۴، ۱۱/۸ درصد کم‌تر بود (شکل ۲). تاثیر سطوح ۲ درصد تیمارهای بیوچار بر تغییر غلظت آهن و روی قابل استفاده خاک بیش‌تر از سطوح ۱ درصد بود (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت آهن و روی قابل استفاده خاک در تیمارهای مختلف کاربرد بیوچار

Figure 2. Mean comparison of soil available concentration of Fe and Zn at different biochar treatments

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (P<0.05) ندارند.

Means similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's -test (P<0.05)

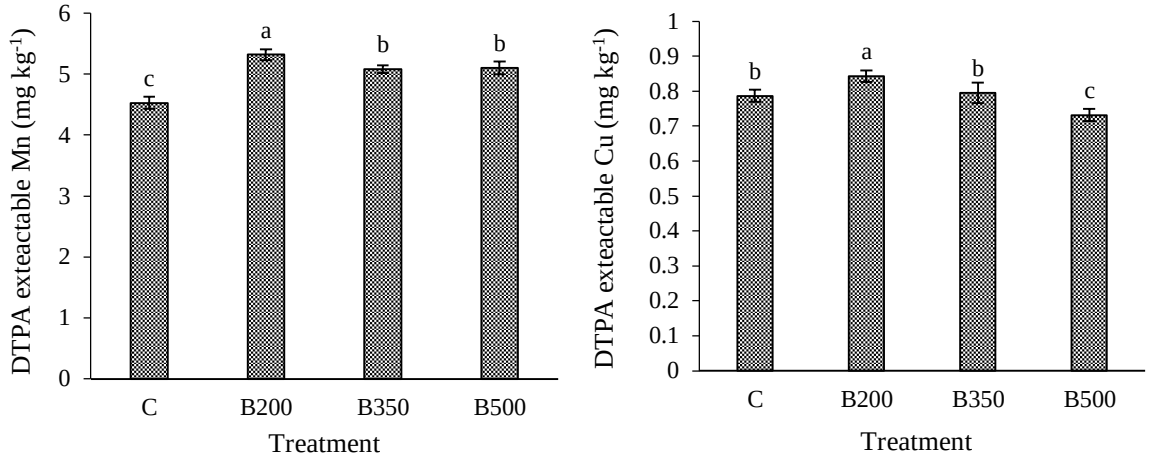
pH خاک مهم‌ترین فاکتور موثر در فراهمی عناصر کم‌مصرف در خاک می‌باشد (Rengel *et al.*, 2015) و با کاهش pH خاک حلالیت این عناصر افزایش یافته و رسوب آن در خاک‌های آهکی کاهش می‌یابد (Ippolito *et al.*, 2016). نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد بیوچار B200 سبب کاهش معنی‌دار pH خاک شد (جدول ۴). بنابراین یکی از دلایل افزایش غلظت قابل استفاده آهن، روی و مس در تیمارهای B200 می‌تواند کاهش pH خاک در این تیمارها باشد. همچنین افزایش غلظت قابل استفاده آهن، روی و مس خاک در تیمارهای B200 را می‌توان به بیش‌تر بودن CEC خاک در این تیمارها ارتباط داد (جدول ۴). چرا که افزایش CEC خاک سبب افزایش مکان‌های جذب قابل برگشت بر سطوح خاک می‌شود، بنابراین آهن و روی می‌توانند بیش‌تر در شکل قابل استفاده خاک قرار گیرند (Abbas *et al.*, 2017). یکی دیگر از دلایل بیش‌تر بودن آهن و روی قابل استفاده خاک در اثر کاربرد بیوچارهای تهیه شده در دماهای پایین و دارای CEC بالا می‌تواند رقابت یونی در

www.SID.ir

Archive of SID

خاک و جذب سایر کاتیون‌ها توسط بیوچار باشد (Abbas *et al*., 2017). با این‌که بیوچار B200 در مقایسه با بیوچارهای B350 و B500 مقدار آهن، روی و مس کم‌تری داشت (جدول ۳)، اما به نظر می‌رسد این بیوچار با تاثیر بر ویژگی‌های خاک از جمله کاهش pH (جدول ۴) و همچنین افزایش فعالیت میکروبی (شکل ۴) غلظت آهن، روی و مس قابل استفاده خاک را افزایش داد. یکی از دلایل تاثیر متفاوت تیمارهای بیوچار بر غلظت آهن، روی و مس قابل استفاده خاک، می‌تواند متفاوت بودن ویژگی‌های این دو نوع بیوچار باشد (جدول ۲)، چرا که عناصر موجود در ساختار بیوچارهای تهیه شده در دماهای گرماکافت پایین سریع‌تر آزاد می‌شوند و عناصر موجود در ساختار بیوچارهای تهیه شده در دماهای بالاتر در خاک پایداری بسیار بالایی دارند (Leng *et al*., 2019). دلیل دیگر این نتیجه می‌تواند اثر متفاوت تیمارهای B500 و B200 بر ویژگی‌های خاک از جمله pH خاک باشد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر اصلی نوع بیوچار نشان داد همه تیمارهای بیوچار سبب افزایش معنی‌دار غلظت منگنز قابل استفاده خاک شدند. همچنین تفاوت معنی‌داری میان غلظت منگنز قابل استفاده خاک در تیمارهای بیوچار مشاهده نشد (شکل ۳). منگنز در خاک‌های قلیایی و آهکی معمولاً با مواد آلی خاک کمپلکس تشکیل می‌دهد (Ippolito *et al*., 2016). افزودن بیوچارها به خاک سبب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک (جدول ۴) و همچنین کربن زیست‌توده میکروبی خاک (شکل ۴) شد. بنابراین احتمالاً افزایش کربن محلول قابل دسترس خاک سبب افزایش غلظت منگنز در محلول خاک شده است. افزایش غلظت منگنز قابل استفاده در خاک‌های آهکی در اثر کاربرد بیوچارهای گوناگون توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (Lentz & Ippolito, 2012; Ippolito *et al*., 2016; Moradi *et al*., 2017).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع بیوچار بر غلظت منگنز و مس قابل استفاده خاک

Figure 3. Mean comparison of main effect of biochar treatments on soil available concentration of Mn and Cu

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

Means similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's -test ($P<0.05$)

ویژگی‌های زیستی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی نوع بیوچار، سطح کاربرد بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر تنفس میکروبی پایه، تنفس برانگیخته با سوبسترا، کربن زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و کاتالاز در خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). کاربرد هر سه نوع بیوچار در هر دو سطح ۱ و ۲ درصد سبب افزایش معنی‌دار کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) تنفس میکروبی (BR) و تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR) شد (شکل ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار MBC، BR و SIR به‌ترتیب مربوط به تیمارهای B200 و شاهد بود. مقدار تنفس میکروبی در تیمارهای کاربرد سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار B200 به‌ترتیب ۲/۱ و ۲/۴ برابر و مقدار تنفس برانگیخته با سوبسترا نیز به‌ترتیب ۱/۷ و ۲/۱ برابر تیمار شاهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طور کلی مقادیر MBC، BR و SIR در تیمارهای کاربرد بیوچار بدین ترتیب بود: B200 > B350 > B500 > Control. نتایج همچنین نشان داد اثر سطح کاربرد ۲ درصد در افزایش BR و SIR بیش‌تر از ۱ درصد بود (شکل ۴). افزایش تنفس میکروبی خاک می‌تواند به‌دلیل مواد فرار و ترکیبات جذب سطحی شده بر روی سطح بیوچار باشد. چرا که این ترکیبات می‌توانند به عنوان سوبسترای قابل دسترس برای ریزجانداران خاک عمل نموده و سبب افزایش رشد و فعالیت میکروبی در خاک‌های تیمار شده با بیوچار شوند (Rutigliano *et al.*, 2014). بیش‌تر بودن مقادیر BR و SIR در تیمار B200 نسبت به تیمارهای B350 و B500 را می‌توان به بیش‌تر بودن مقدار مواد فرار در این بیوچار نسبت داد (جدول ۲). افزایش MBC نشان دهنده رشد ریزجانداران خاک است. کاربرد بیوچارها سبب افزایش معنی‌دار MBC شد، که این می‌تواند به‌دلیل افزایش کربن آلی خاک (جدول ۴) و افزایش کربن و عناصر غذایی قابل دسترس برای ریزجانداران خاک در اثر افزودن بیوچارها باشد. همچنین افزایش کربن زیست‌توده میکروبی خاک در اثر افزودن بیوچار می‌تواند به این دلیل باشد که بیوچار با داشتن ساختار متخلخل و سطح ویژه بالا می‌تواند زیستگاه مناسبی برای ریزجانداران خاک به‌ویژه باکتری‌ها فراهم کند (Zhu *et al.*, 2017). نتایج نشان داد تاثیر بیوچار B200 در افزایش MBC به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بیوچارهای B350 و B500 بود. این نتایج می‌تواند به‌دلیل مواد فرار کم‌تر و همچنین کم‌تر بودن نسبت‌های مولی O/C و H/C در بیوچارهای B350 و B500 در مقایسه با B200 باشد (جدول ۲). چرا که مقادیر کم‌تر نسبت‌های مولی O/C و H/C نشان‌دهنده بیشتر بودن بخش پایدار کربن و محتوای کربن آروماتیک (آروماتیسیته) بیش‌تر می‌باشد (Domingues *et al.*, 2017; Leng *et al.*, 2019). به‌طور مشابه با این پژوهش سونگ و همکاران (Song *et al.*, 2018) و همچنین گزارش کردند که افزودن بیوچار ذرت به یک خاک آهکی MBC خاک را افزایش داد. نتایج پژوهش خادم و رئیسی (Khadem & Raiesi, 2017a) نیز نشان داد افزودن بیوچار ذرت سبب افزایش MBC در دو نوع خاک آهکی با بافت شنی و رسی شد.

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر ویژگی‌های زیستی خاک

Table 6. Variance analysis (mean squares) of the treatments effects on biological properties.

S.O.V	df	BR	SIR	MBC	Dehydrogenase activity	Catalase activity
Biochar type	2	5760**	190.4**	52431**	14.15**	0.545**
Biochar rate	1	1007**	12.48**	1580**	0.971*	0.044*
Type × Rate	2	355.9*	3.19*	668.9*	0.544*	0.035*
Error	12	74.1	0.803	148.3	0.126	0.08
CV (%)		4.12	3.31	7.73	8.26	3.64

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

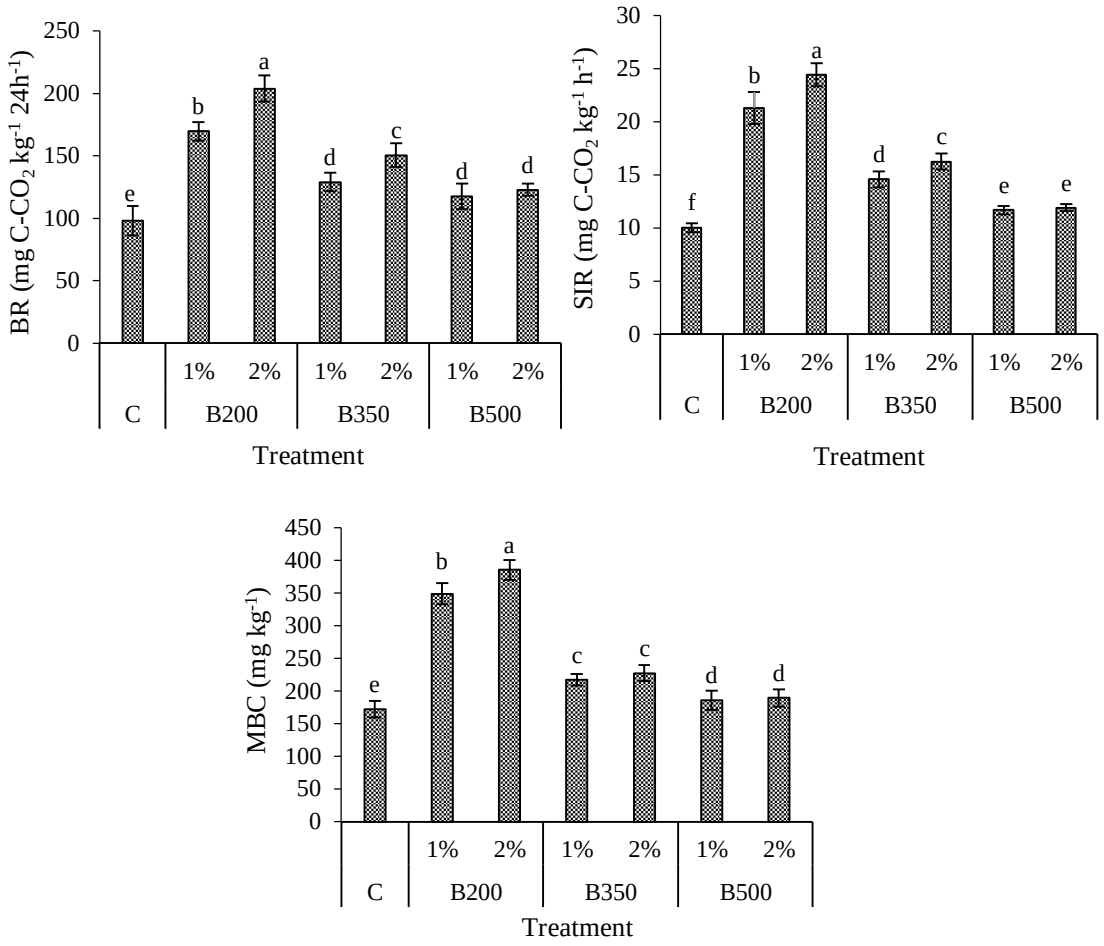
* and ** are significant at the probability levels of 0.05 and 0.01, respectively

BR، SIR و MBC به‌ترتیب تنفس میکروبی پایه، تنفس میکروبی برانگیخته و کربن زیست‌توده میکروبی

BR, SIR and MBC are basal respiration, substrate-induced respiration and microbial biomass carbon respectively

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- مقایسه میانگین تنفس میکروبی پایه (BR) تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR) و کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) خاک در تیمارهای مختلف بیوچار

Figure 2. Mean comparison of soil basal respiration (BR), substrate induced respiration and microbial biomass carbon (MBC) at different biochar treatment

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

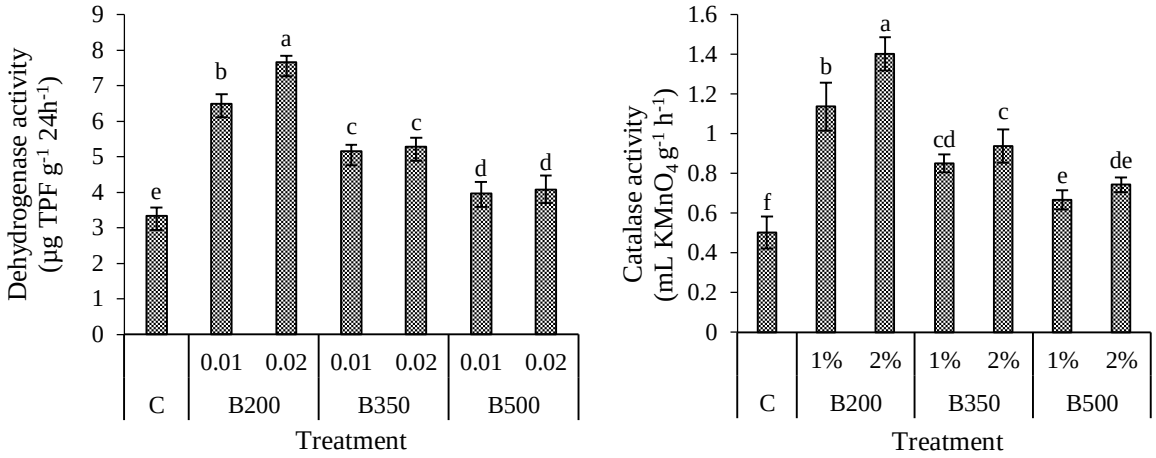
Means similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's -test ($P<0.05$)

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد افزودن بیوچارها به خاک سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و دهیدروژناز خاک شد (شکل ۵). تاثیر کاربرد بیوچارها در سطح ۲ درصد در افزایش فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و کاتالاز بیش‌تر از سطح ۱ درصد آن‌ها بود. همانند تنفس کاهش اثر بیوچار بر فعالیت آنزیمی خاک در اثر افزایش دمای گرماکافت می‌تواند به‌دلیل تغییر در ویژگی‌ها و ساختار بیوچار و به‌دنبال آن اثر متفاوت بیوچارها بر ویژگی‌ها و فعالیت میکروبی خاک باشد. افزایش کربن پایدار و محتوای کربن آروماتیک می‌تواند یکی از دلایل احتمالی کمتر بودن فعالیت آنزیمی در تیمارهای B350 و B500 نسبت به تیمار B200 باشد. چرا که بیوچارهای B350 و B500 در مقایسه با بیوچار B200 دارای نسبت‌های مولی H/C و O/C بسیار کم‌تری بود (جدول ۲)، که این نشان‌دهنده این است که با افزایش دمای گرماکافت در اثر واکنش‌های دهیدراته شدن و دکربوکسیله شدن گروه‌های عامل سطحی و پلی‌ساکاریدها خارج شده و ساختارهای آروماتیک کربن تشکیل شده‌اند (Domingues *et al*., 2017; Leng *et al*., 2019). همچنین از بین رفتن بسیاری از کربوهیدرات‌های قابل دسترس مانند سلولز و همی‌سلولز و ترکیبات غنی از نیتروژن مانند پروتئین‌ها در اثر افزایش دمای گرماکافت (Al-Wabel *et al*., 2013) می‌تواند از دلایل کم‌تر بودن فعالیت آنزیم‌ها در تیمار B500 باشد. کم‌تر بودن زیست‌توده میکروبی در تیمارهای B350 و B500 در مقایسه با بیوچار B200 (شکل ۴) نیز می‌تواند از دلایل کم‌تر بودن فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و دهیدروژناز در این تیمارها باشد. کاهش فراهمی مواد فرار موجود در ساختار بیوچار

www.SID.ir

Archive of SID

در اثر افزایش دمای گرماکافت نیز می‌تواند یکی از دلایل کاهش فعالیت آنزیم دهیدروژناز به‌ویژه در تیمار B500 باشد. میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی، تاثیر تیمارهای B200 در افزایش فعالیت آنزیمی بیش‌تر از تیمارهای B200 و B200 بود. این نتایج نشان می‌دهد که بیوچار B200 سوبسترای قابل دسترس (کربن و عناصر غذایی) را برای جمعیت میکروبی فراهم نموده و سبب تحریک فعالیت آنزیمی خاک می‌شود. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اثر چشم‌گیر بیوچارها به‌ویژه B200 و B350 در افزایش فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و کاتالاز به‌عنوان آنزیم‌های درون سلولی موثر در متابولیسم‌های سلولی، فرآیند فسفریلاسیون اکسیداتیو ریزجانداران خاک و حفاظت سلول در برابر گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن، بود. نتایج پژوهش بهشتی و همکاران (Beheshti *et al*., 2018) نیز نشان داد فعالیت آنزیم دهیدروژناز در یک خاک آهکی تیمار شده با بیوچارهای کاه گندم و کود گاوی افزایش یافت، که این افزایش در بیوچارهای گرماکافت شده در دماهای بالاتر، کمتر بود. خادم و رئیسی (Khadem & Raiesi, 2017b) نیز گزارش کردند بیوچار ذرت تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس در مقایسه با بیوچارهای تهیه شده در دماهای بالاتر (۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس) در افزایش فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و کاتالاز موثرتر بود. نتایج پژوهش سونگ و همکاران (Song *et al*., 2018) نیز نشان داد افزودن بیوچار ذرت به یک خاک آهکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و کاتالاز شد.



شکل ۵- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم‌های دهیدروزناز و کاتالاز در تیمارهای مختلف بیوچار

Figure 5. Mean comparison of activity of dehydrogenase and catalase at different biochar treatments

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) ندارند.

Means similar letter(s) are not significantly different according to the Duncan's -test ($P<0.05$)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک به دمای گرماکافت بیوچار و سطح کاربرد آن بستگی دارد. به‌طوری که تاثیر سطح کاربرد ۲ درصد بیوچار در مقایسه با سطح ۱ درصد آن تاثیر بیش‌تری در تغییر ویژگی‌های خاک داشت. اگر چه بیوچار تهیه شده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در افزایش فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک کارآیی بالایی داشت، اما در بهبود فعالیت میکروبی خاک تاثیر کم‌تری داشت و همچنین سبب افزایش pH خاک و کاهش فراهمی عناصر غذایی آهن، روی و مس در خاک شد. در حالی‌که بیوچار تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس در افزایش فراهمی عناصر غذایی، به‌ویژه عناصر غذایی کم‌مصرف و همچنین افزایش فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک بسیار موثرتر بود. همچنین بیوچار تهیه شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس موثرترین نوع بیوچار در افزایش کربن آلی خاک بود و در افزایش فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک و همچنین افزایش فراهمی فسفر، پتاسیم و منگنز نیز تاثیر مثبتی داشت. باتوجه به این‌که یکی از مشکلات عمده خاکهای آهکی مناطق خشک و نیمه خشک ایران کمبود مواد آلی و پیامدهای نامطلوب ناشی از این کمبود است، بنابراین

www.SID.ir

Archive of SID

افزودن بیوچار باگاس نیشکر به خاکهای آهکی ایران می‌تواند سبب بهبود کربن آلی خاک و به‌دنبال آن سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد کاربرد بیوچار باگاس نیشکر تهیه شده در دماهای گرماکافت پایین (۲۰۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس) به‌ویژه ۲۰۰ درجه سلسیوس، در فراهمی عناصر غذایی، افزایش کربن آلی خاک و بهبود فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک بسیار موثر است.

References

Abbas T., Rizwan M., Ali S., Zia-ur-Rehman M., Qayyum M.F., Abbas F., Hannan F., Rinklebe J. and Ok Y.S. 2017. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140: 37-47.

Alef K., and Nannipieri P. 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London. 608p.

Anderson J.P.E. 1982. Soil respiration. In: A.L. and R.H. Mille (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. Madison, WI, pp. 831-871.

Al-Wabel M.I., Hussain Q., Usman A.R., Ahmad M., Abduljabbar A., Sallam A.S., and Ok Y.S. 2017. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. *Land Degradation and Development*, 29: 2124-2161.

Beheshti M., Etesami H., and Alikhani H.A. 2018. Effect of different biochars amendment on soil biological indicators in a calcareous soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 14752-14761.

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.

Cimo G., Kucerik J., Berns A.E., Schaumann G.E., Alonzo G., and Conte P. 2014. Effect of heating time and temperature on the chemical characteristics of biochar from poultry manure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 1912-1918.

Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2nd Ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida, 1204p.

Domingues R.R., Trugilho P.F., Silva C.A., de Melo I.C.N., Melo L.C., Magriotis Z.M., and Sánchez-Monedero M.A. 2017. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. PloS one, 12: 0176884.

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.

Gul S., Whalen J.K., Thomas B.W., Sachdeva V., and Deng H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 206: 46-59.

Jenkinson D.S. and Ladd J.N. 1981. Microbial biomass in soil measurement and turnover. P415-471, In: Paul E.A., Ladd, J.N. (Ed.). Soil Biochemistry, Marcel Dekker, Inc., NY, pp. 415-471.

Ippolito J.A., Ducey T.F., Cantrell K.B., Novak J.M. and Lentz R.D. 2016. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142: 184–191.

Khadem A., and Raiesi F. 2017a. Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils. *Applied Soil Ecology*, 114: 16-27.

Khadem A., and Raiesi F. 2017b. Influence of biochar on potential enzyme activities in two calcareous soils of contrasting texture. *Geoderma*, 308: 149-158.

Khadem A., Raiesi F. and Besharati, H. 2018. The effects of corn biochar on the chemical and microbiological characteristics of two calcareous clay and sandy soils. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8: 25-47. (In Persian)

Khanmohammadi Z., Afyuni M., and Mosaddeghi M. 2016. Effect of Pyrolysis Temperature on Chemical Properties of Sugarcane Bagasse and Pistachio residues Biochar. *Applied Soil Research*, 3: 1-13. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., and Karlen D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4): 436-442.

Leng L., Huang H., Li H., Li J., and Zhou W. 2019. Biochar stability assessment methods: A review. *Science of the Total Environment*, 640: 210-222.

Lian F., and Xing B., 2017. Black carbon (biochar) in water/soil environments: Molecular structure, sorption, stability, and potential risk. *Environmental Science and Technology*, 51: 13517–13532.

Lindsay W.L., and Norvel W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil science society of America journal*, 42: 421-428.

Liu J. Xie J., Chu Y., Sun C., Chen C., and Wang Q. 2008. Combined effect of cypermethrin and copper on catalase activity in soil. *Journal of Soils and Sediments*, 5: 327–332.

Liu X.H., and Zhang X.C. 2012. Effect of biochar on pH of alkaline soils in the Loess Plateau: results from incubation experiments International *Journal of Agriculture and Biology*, 4: 745–750.

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.

Moradi N., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Sepehr E. 2017. Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil*, 31(4): 1232-1246. (In Persian)

Mukherjee S., Weihermueller L., Tappe W., Vereecken H., and Burauel P. 2016. Microbial respiration of biochar-and digestate-based mixtures. *Biology and Fertility of Soils*, 52(2): 151-164.

Naeem M.A., Khalid M., Aon M., Abbas G., Tahir M., Amjad M., Murtaza B., Yang A., and Akhtar S.S. 2017. Effect of wheat and rice straw biochar produced at different temperatures on maize growth and nutrient dynamics of a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(14): 2048-2061.

Najafi G., Ghobadian B., Tavakoli T., and Yusaf T. 2009. Potential of bioethanol production from agricultural wastes in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7): 1418-1427.

Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks D.L (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 961-1010.

Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. In: Page A. L. et al. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd (Ed.), Argon. Mongr. 9. ASA and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 403-430.

Paz-Ferreiro J., Gascó G., Gutiérrez B., and Méndez A. 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(5): 511-517.

Qi F., Dong Z., Lamb D., Naidu R., Bolan N.S., Ok Y.S., Liu C., Khan N., Johir M.A.H., and Semple, K.T. 2017. Effects of acidic and neutral biochars on properties and cadmium retention of soils. *Chemosphere*, 180: 564-573.

Rengel Z. 2015. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. Journal of soil science and plant nutrition. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15 (2): 397-409.

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.

Singh B., Camps-Arbestain M., and Lehmann J. 2017. Biochar: A Guide to Analytical Methods. Csiro Publishing, 320p.

Song D., Tang J., Xi X., Zhang S., Liang G., Zhou W., and Wang X. 2018. Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. *European Journal of Soil Biology*, 84: 1-10.

Usman A.R.A., Al-Wabel M.I., Ok Y.S., AL-Harbi A., Wahb-Allah M., El-Naggar A.H., Ahmad M., Al-Faraj A., and Al-Omran A. 2016. Conocarpus Biochar Induces Changes in Soil Nutrient Availability and Tomato Growth Under Saline Irrigation. *Pedosphere*, 26(1): 27–38.

Vahedi R. Rasouli-Sadaghiani MH. 2019. The effect of application of biochar and pruning waste compost with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on availability of macronutrient in wheat rhizosphere. *Applied Soil Research*, 6(4): 16-30. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Wang M., Zhu Y., Cheng L., Andserson B., Zhao X., Wang D., and Ding A. 2018. Review on utilization of biochar for metal-contaminated soil and sediment remediation. *Journal of Environmental Sciences*, 63: 156 – 173.

Yuan P., Wang J., Pan Y., Shen B., and Wu C. 2019. Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect. *Science of the Total Environment*, 659: 473-490.

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.

Zhu X., Chen B., Zhu L., and Xing B. 2017. Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: *A review. Environmental Pollution*, 227: 98-115.

www.SID.ir

Archive of SID

Influence of Sugarcane Bagasse Biochar on Nutrient Availability and Biological Properties of a Calcareous Soil

Akbar Karimi[1*], Abdoilamir Moezzi[2], Mostafa Chorom[3], Naeimeh Enayatizamir[2]

(Received: March 2019 Accepted: April 2019)

Abstract

Biochar application can affect nutrient availability and biological properties of soil. The objective of this study was to evaluate the effect of biochar derived sugarcane bagasse at different pyrolysis temperature on nutrient availability and biological properties of a calcareous soil. Therefore, biochars were produced at 200, 350 and 500˚C and mixed at 1 and 2% (w/w) with the soil. The soil samples were incubated in ambient temperature (25 ± 2°C), for 90 days. At the end of experiment, nutrient availability and some of chemical and biological properties of soil were measured. The experiment was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete design with two factors including biochar type and application rate in three replications. The results indicated application of biochars increased soil cation exchangeable capacity (1.9-12.9%), organic carbon (54-192%), available P (2.0-76.0%), K (5.2-18.1%) and Mn (12.6-17.5%). Application of B500 decreased the concentration of available Fe, Zn and Cu but application of B200 significantly increased of these nutrients. In addition, application of biochars significantly increased microbial respiration (20.0-108%), substrate-induced respiration (16.5-142%), microbial biomass carbon (8.2-124%) and activities of dehydrogenase (19.3-129%) and catalase (34.4-178%). The greatest increases in available concentration of micronutrients and microbial properties were observed in B200 treatment at 2% application rate. In general, the results indicated that sugarcane bagasse derived biochar produced at low temperature (200 and 350˚C) especially 200 ˚C can be suitable organic amendment for improving soil organic matter, nutrient availability and biological properties of calcareous soils in arid and semi-arid regions.

Keywords: Microbial activity, Nutrient, Organic amendments, Pyrolysis temperature

Karimi A., Moezzi A.A., Chorom M., and Enayatizamir N. 2020. Influence of Sugarcane bagasse biochar on nutrition availability and biological properties of a calcareous soil. *Applied Soil Research*, 8(1): 1-17

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2.Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3.Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
* Corresponding Author Email: akbar.karimi84@yahoo.com

www.SID.ir