بررسی تاثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی

لاله دیوبند هفشجانی[1]، عبدعلی ناصری[2*]، عبدالرحیم هوشمند[3]، فریبرز عباسی[4] و امیر سلطانی محمدی[5]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲* - نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

abdalinaseri@yahoo.com

۳ - دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۴- عضو هیئت علمی (استاد) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۵ - استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت:۹۴/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۲۶

چکیده

حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی تابعی از میزان مواد آلی موجود در خاک است. با توجه به مقدار کم این ماده در خاک‌های زراعی ایران مصرف مواد آلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بیوچار از جمله مواد آلی است که به دلیل دارا بودن خاصیت پایداری بالا، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. این تحقیق با هدف بررسی اثر بیوچار باگاس نیشکر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای این منظور از بین بیوچارهای تهیه شده در دماهای ۶۰۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، بیوچار ۳۰۰ درجه به دلیل داشتن بالاترین شاخص بهره‌وری مواد آلی پایدار (۷/۲ درصد) به عنوان بیوچار بهینه انتخاب گردید. سپس اثر این ماده آلی پس از فعال‌سازی در چهار سطح (۱۰، ۵، ۲، ۰ گرم بر کیلوگرم خاک) بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی از قبیل کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل آنیونی و کاتیونی، اسیدیته، هدایت الکتریکی تعیین گردید. نتایج نشان داد که افزودن بیوچار باگاس نیشکر در تمامی سطوح طی هشت ماه دوره آزمایش، باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل آنیونی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گردید. همچنین این ماده باعث کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک گردید. بیوچار باگاس نیشکر با تیمار ۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک بیشترین تاثیر را در افزایش ظرفیت تبادلی آنیونی خاک (۷/٤ برابر شاهد) و کمترین تاثیر را در کاهش اسیدیته خاک (۰/۰۱ برابر شاهد) نشان داد.

کلید واژه‌ها: ماده آلی، گروه‌های عاملی، کربن، دمای پیرولیز.

Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil

L. Divband Hafshejani[1], A. A Naseri[2*], A. Hooshmand[3], F. Abassi[4] and A. Soltani Mohammadi[5]

1- Ph.D Student of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran.

2*- Corresponding Author,Professor of Irrigation and Drainage. Facualty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran.

3- Associate Professor of Irrigation and Drainage. Facualty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran.

4- Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

5- Assistant Professor of Irrigation and Drainage. Facualty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

Received:23 June 2015 Accepted:17 December 2015

Abstract

The fertility of agricultural land is a function of the amount of organic material available in the soil. Due to the low amount of this material in the agriculture soil, use of organic materials is important. Biochar is a kind of organic materials which has high stable properties, in recent years attracts the attention of researchers. The goal of this research was to study the effect of sugarcane bagasse biochar on some chemical properties of a sandy loam soil. For this purpose, from prepared biochar in different temperatures of 200-600 ^{o}C, biochar products in temperature of 300 ^{o}C which had the highest stable organic matter yield index (7.2%) was selected as the optimum biochar. Then the effect of this organic matter, after mixing it with a sandy loam soil at 4 levels (0, 2, 5 and 10 g per kg soil), on chemical characteristics of this soil, such as organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, cation and anion exchange capacity were determined. The results showed that the addition of sugarcane bagasse biochar in all levels caused increasing significant of organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, anion exchange capacity, EC, cation Exchange capacity and decreased pH of the soil. Sugarcane bagasse biochar with treatment of 10 g per kg soil showed greatest impact on anion exchange capacity of the soil (7.4 times compared to the control) and the lowest impact on the reduction of soil pH (0.01 times compared to the control).

Keywords: Organic matter, Functional groups, Carbon, Temperature of pyrolysis.

مقدمه

ماده آلی عامل اصلی حاصلخیزی زمین‌های زراعی است. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب شده که مقدار این عنصر کلیدی در خاک‌های کشاورزی روز به روز کمتر شود و به دنبال آن عملکرد محصول کاهش یابد. بنابراین برای حفظ حاصلخیزی خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست محیطی، مصرف کودهای آلی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب ناپذیر است (ژانگ و سان[1]، ۲۰۱۴). از دیر باز استفاده از بقایای کشاورزی، لجن فاضلاب، زباله‌های شهری و کودهای دامی به عنوان یکی از راه‌کارهای تأمین این ماده گران‌بها می‌باشد. اما تحقیقات نشان داده است کاربرد مستقیم این مواد در زمین‌های کشاورزی می‌تواند تولید مواد سمی و پاتوژن‌ها را به همراه داشته باشد، بنابراین لازم است این مواد به محصولات پایدار و بی‌ضرر آلی تبدیل شوند (ژانگ و سان، ۲۰۱۴). بیوچارها محصولات غنی از کربن هستند که تحت عملیات حرارتی با اکسیژن کم یا عدم وجود اکسیژن تهیه می‌شوند و کاربرد آن‌ها در زمین‌های زراعی هم از جنبه‌های کشاورزی و هم زیست محیطی می‌تواند مفید واقع گردد (ماستو و همکاران[2]، ۲۰۱۳). اخیراً استفاده از بیوچار در زمین‌های کشاورزی به عنوان منبع تامین کننده مواد آلی برای رشد گیاه و اصلاح کننده‌ای برای بهبود خصوصیات خاک رونق زیادی یافته است (چن و همکاران[3]، ۲۰۱۰; دومنه و همکاران[4]، ۲۰۱۴). بیوچار می‌تواند به عنوان یک ذخیره کربنی برای صدها تا هزاران سال در خاک باقی بماند (لیو و همکاران[5]، ۲۰۱۴; سینگلا و همکاران[6]، ۲۰۱۴). تحقیقات نشان داده است این ماده نیز با ترسیب کربن تاثیر عمده‌ای در کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهبود پدیده گرمایش جهانی دارد (لیو وهمکاران، ۲۰۱۴). از اثر دیگر بیوچار، جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش بهره‌وری از کود، بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و کاهش مقاومت کششی خاک و نفوذ بهتر ریشه می‌باشد (ناولز و همکاران[7]، ۲۰۱۱). کومار و همکاران[8] (۲۰۱۳) اثر درجه حرارت‌های مختلف تولید بیوچار (۵۰۰- ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) علف ستاره و سپس تاثیر کاربرد بیوچار بهینه را بر برخی خصوصیات خاک بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بیوچار تولید شده در دمای ۳۵۰–۳۰۰ دارای شاخص بهره‌وری مواد آلی بزرگتری می‌باشد. کاربرد بیوچار گیاه علف ستاره در سطوح مختلف باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک گردید. در پژوهشی نبوی‌نیا (۱۳۹۲)، نشان داد که مصرف بیوچار تولید شده از ضایعات دباغی سبب افزایش کربن آلی، هدایت الکتریکی، نیتروژن و فسفر خاک گردید. آن‌ها افزایش هدایت الکتریکی ناشی از کاربرد بیوچار را وجود مقادیر زیادی کلسیم، منیزیم، پتاسیم در بیوچار گزارش کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نیز نشان داد کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌دار بر مقدار پتاسیم خاک ندارد.

نتایج تحقیق نجمی (۱۳۹۲) نشان داد که کاربرد بیوچار در خاک باعث افزایش معنی‌دار اسیدیته، هدایت الکتریکی، کاتیون های بازی تبادلی نسبت به شاهد گردید. همچنین مقدار فسفر خاک با گذشت زمان ابتدا

1 - Zhang and Sun
2- Masto *et al.*
3 - Chen *et al.*
4 - Domene *et al.*
5 - Liu *et al.*
6 - Singla *et al.*
7- Knowles *et al.*
8- Kumar *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش و سپس افزایش یافت. کربن خاک پس از کاربرد بیوچار، نسبت به شاهد با افزایش یافت. همچنین کاربرد بیوچار در تمامی تیمارها بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اثر مثبت داشت و باعث افزایش معنی‌دار این پارامتر گردید. محمدیان و ملکوتی (۱۳۸۱)، تأثیر کاربرد کمپوست باگاس نیشکر را بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که کمپوست باگاس نیشکر باعث کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک گردید. مقدار کربن آلی خاک با افزایش مصرف کمپوست افزایش یافته است ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. کاربرد تیمارهای مختلف کمپوست باگاس نیشکر باعث افزایش محتوی نیتروژن خاک گردید به طوری که این افزایش نیز معنی‌دار نبود. باگاس یکی از تولیدات جانبی صنایع نیشکر است که ۳۰-۲۰ درصد محصول آن را تشکیل می‌دهد. این محصول باقی‌مانده فیبری پس از عصاره گیری شکر است که به صورت قطعات ریز ترانشه چوب و به رنگ کاهی است. باگاس یک ماده لیگنوسلولزی است که از تفاله نیشکر به دست می آید و عمدتاً از سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده است (فانگکوم و ریونگسنگ[1]، ۲۰۱۱). با توجه به تحقیقاتی که توسط سایر محقیق انجام شد، مشخص گردیده است اثر مثبت بیوچار در مناطق گرمسیری بیشتر می‌باشد (روگوسکا و همکاران[2]، ۲۰۱۴). از طرفی درصد ماده آلی و آنیون‌های غذایی در خاک‌های خوزستان پایین می‌باشد و استفاده از بیوچار در این خاکها به عنوان منبع تامین کننده مواد آلی برای تامین مواد غذایی مراحل مختلف رشد گیاه و همچنین اصلاح خصوصیات مختلف خاک تاثیر بسزایی داشته باشد. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک، در مقیاس آزمایشگاهی بوده است.

مواد و روش‌ها

تهیه بیوچار باگاس نیشکر

این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقات آب و خاک و کیفیت آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز، با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار باگاس نیشکر بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک لوم شنی انجام گردید. باگاس نیشکر پس از تهیه از کشت و صنعت امیرکبیر با آب فراوان شسته شد و به مدت سه روز متوالی در هوا خشک گردید. پس از خرد شدن در ظروف مخصوصی درپوش‌دار ریخته شدند و در کوره به مدت چهار ساعت با نرخ ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. دمای کوره در درجه حرارت‌های مختلف بین ۶۰۰-۲۰۰ تنظیم گردید و باگاس نیشکر در این دماها پیرولیز شد (یوآن و همکاران[3]، ۲۰۱۱). سپس برای هر بیوچار، بازده آن از تفاوت وزن نمونه قبل و بعد از پیرولیز، محاسبه شد. کربن آلی قابل اکسید شدن از روش اکسیداسیون دی کرومات پتاسیم، تعیین شد. ماده قابل احتراق به وسیله حرارت دادن نمونه در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت، اندازه گیری شد.

1 - Fangkum and Reungsang
2 - Rogovska *et al.*
3- Yuan *et al.*

شاخص تغییرپذیری کربن از نسبت کربن آلی قابل اکسید شدن به ماده قابل احتراق و مواد آلی پایدار از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$SOM = LOI - (OC \times 1.724) \qquad (۱)$$

در رابطه بالا LOI[4]: ماده قابل احتراق، OC[5]: کربن آلی قابل اکسید شدن، SOM[6]: مواد آلی پایدار و عدد ۱/۷۲۴ ضریب تبدیل کربن آلی به مواد آلی می‌باشد. شاخص بهره‌وری مواد آلی پایدار (SOMYI) نیز از رابطه (۲) محاسبه گردید (ماستو و همکاران، ۲۰۱۳):

$$\text{SOMYI} = \frac{\text{Biochar yield}}{100} \times \text{SOM} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، SOMYI[7]: شاخص بهره‌وری مواد آلی پایدار و Biochar yield[8]: بازده بیوچار می‌باشد. با توجه به این که هدف از این تحقیق تولید بیوچار به عنوان یک منبع کربنی پایدار و تأثیر آن بر خصوصیات شیمیایی خاک می‌باشد، از بین بیوچارهای های تهیه شده در دماهای مختلف، نمونه‌ای برای ادامه آزمایش‌ها انتخاب شد که شاخص بهره‌وری مواد آلی پایدار بالاتری داشته باشد. برای افزایش ظرفیت تبادل آنیونی، بیوچار بهینه با استفاده از اپی کلروهیدرین، دی متیل فرومواید و اتیلن دی آمین اصلاح گردید (زو و همکاران[9]، ۲۰۱۰). خصوصیات بیوچار اصلاح شده از قبیل اسیدیته و هدایت الکتریکی در سوسپانسیون (W/V) ۱:۲۰ بیوچار با آب دیونیزه بعد از ۳۰ دقیقه، درصد تعیین کربن، نیتروژن، هیدروژن، اکسیژن و گوگرد با استفاده از دستگاه تحلیل عنصری (CNH) مدل vario ELIII- elementar ساخت آلمان، تعیین گروه‌های عاملی بیوچار با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) مدل Spectrum GX, Perkin-Elmer، مورفولوژی ظاهری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Leo 1455 VP ساخت آلمان ساخت آلمان، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی با روش جایگزینی $NaNO_3$ به جای HCl و KCl (چینتالا و همکاران[10]، ۲۰۱۳; هارمند و همکاران[11]، ۲۰۱۰)، فسفر کل به روش اولسن، کربن آلی به روش والکی بلک (مصدقی و همکاران[12]، ۲۰۱۰)و نیتروژن کل به روش کجلدال (سانتیبانز و همکاران[13]، ۲۰۰۷)، تعیین گردید.

4- Loss on ignition
5- Oxidisable organic carbon
6- Stable organic matter
7- Stable organic matter yield index
8- Biochar yield
9- Xu *et al.*
10- Chintala *et al.*
11- Harmand *et al.*
12- Mosaddeghi *et al.*
13- Santibáñez *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات بیوچارهای تولید شده در درجه حرارت‌های مختلف (سانتی‌گراد)

درجه حرارت تولید بیوچار (سانتی‌گراد)	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
بازده بیوچار (درصد)	۲۹/۳	۲۶/۱	۱۷/۱	۱۵/۲	۱۲
درصد مقدار کربن آلی قابل اکسید شدن	۴۱/۴	۳۴	۲۹/۵	۲۸/۹	۲۱
درصد ماده قابل احتراق	۸۹/۱	۸۶	۷۷/۳	۷۴/۸	۵۹/۳
شاخص تغییر پذیری کربن	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
درصد مواد آلی پایدار	۱۷/۷	۲۷/۴	۲۶/۵	۲۴/۹	۲۳
شاخص بهره‌وری مواد آلی پایدار	۵/۲	۷/۲	۴/۶	۳/۸	۲/۸

جدول ۲- خصوصیات بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
اسیدیته(بدون واحد)	۷/۰۳	درصد کربن	۵۶/۲
هدایت الکتریکی(dS/m)	۲/۷۳	درصد هیدروژن	۳/۸
ظرفیت تبادل کاتیونی(cmol/kg)	۱۲/۹	درصد نیتروژن	۴/۱
ظرفیت تبادل آنیونی(cmol/kg)	۱۰/۲۱	درصد گوگرد	۰/۸
فسفر(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۶۵	درصد اکسیژن	۲۱/۱

آماده‌سازی ستون‌های خاک

نمونه‌های خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شدند. نمونه‌های خاک در هوا خشک شده تا به وزن ثابتی برسند. خاک‌های خشک شده با چکش پلاستیکی خرد شده و به منظور ایجاد یکنواختی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (اوفلین و همکاران[1]، ۲۰۱۳). خصوصیات خاک از جمله چگالی ذرات با روش استوانه و نمونه دست نخورده، بافت خاک به روش هیدرومتری (ژی- مینگ و همکاران[2]، ۲۰۱۲)، کربن آلی به روش والکی بلک، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر کل به روش اولسن، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی با روش جایگزینی نیترات سدیم به جای اسید هیدروکلریک و کلرید پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شد (ژی- مینگ و همکاران، ۲۰۱۲). آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و چهار سطح (۰، ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک) انجام گردید. برای این کار از لوله‌های پولیکا با قطر ۱۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. به منظور جلوگیری از خروج خاک، انتهای لوله‌ها با توری‌های پلاستیکی و درپوش پلی اتیلن مسدود و روی صفحه به منظور خروج آب سوراخ‌هایی تعبیه گردید (ژانگ و همکاران[3]، ۲۰۰۷). برای زهکشی آزاد، پنج سانتی‌متر اول ستون‌ها با شن به قطر ۵-۱۰ سانتی‌متر پر شد (اوفلین و همکاران، ۲۰۱۳؛ لایرد و همکاران[4]، ۲۰۱۰). پس از مخلوط کردن بیوچار در سطوح مشخص با خاک، پر کردن ستون‌ها از خاک تیمار شده به صورت لایه به لایه بر اساس جرم مخصوص ظاهری مزرعه اصلی انجام شد. تیمارها در طی دوره آزمایش (هشت ماه) در محدوده رطوبتی ظرفیت زراعی (۰/۸- ۰/۷) (شرایط بهینه برای فعالیت میکروب‌های هوازی) نگهداری شدند (اصغری و همکاران[5]، ۲۰۱۱). این کار به وسیله جایگذاری پروب‌های دستگاه TDR در عمق ۱۰ سانتی‌متری از بالای ستون‌ها انجام گردید. آبیاری ستون‌های خاک به وسیله آب لوله‌کشی شهری با متوسط هدایت الکتریکی ۲/۰۳ دسی زیمنس بر متر و متوسط اسیدیته حدود ۷/۰۷ انجام شد. در پایان دوره آزمایش، تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر برخی خصوصیات شیمیایی (هدایت الکتریکی، اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی، ازت کل، فسفر قابل جذب و کربن آلی) خاک تعیین گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 22 و مقایسه بین میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین رسم نمودارها با نرم افزار اکسل صورت گرفت.

1- O'Flynn *et al.*
2- Zhi-Ming *et al.*
3- Zhang *et al.*
4- Laird *et al.*
5- Asghari *et al.*

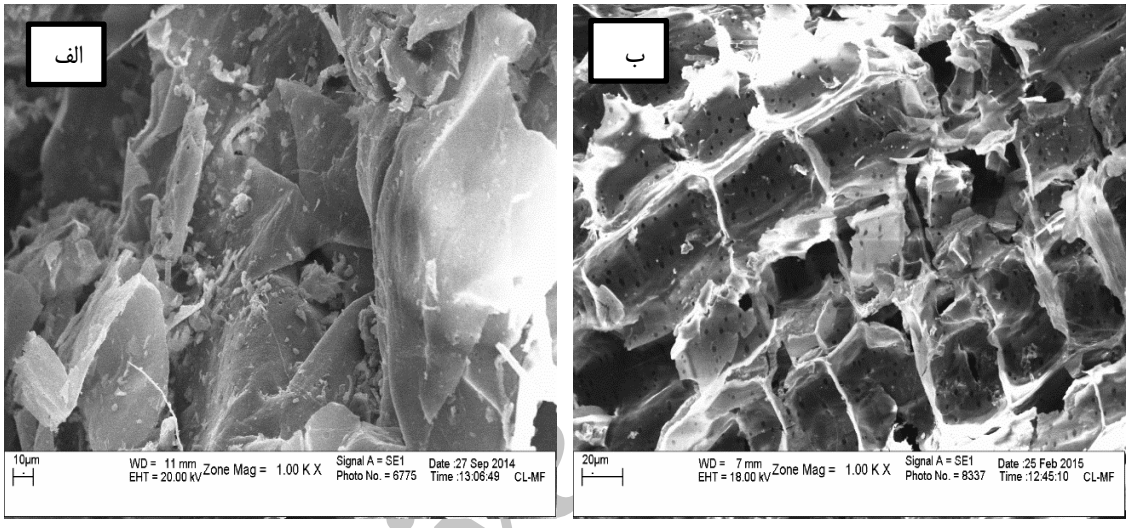
Archive of SID
www.SID.ir

نتایج و بحث

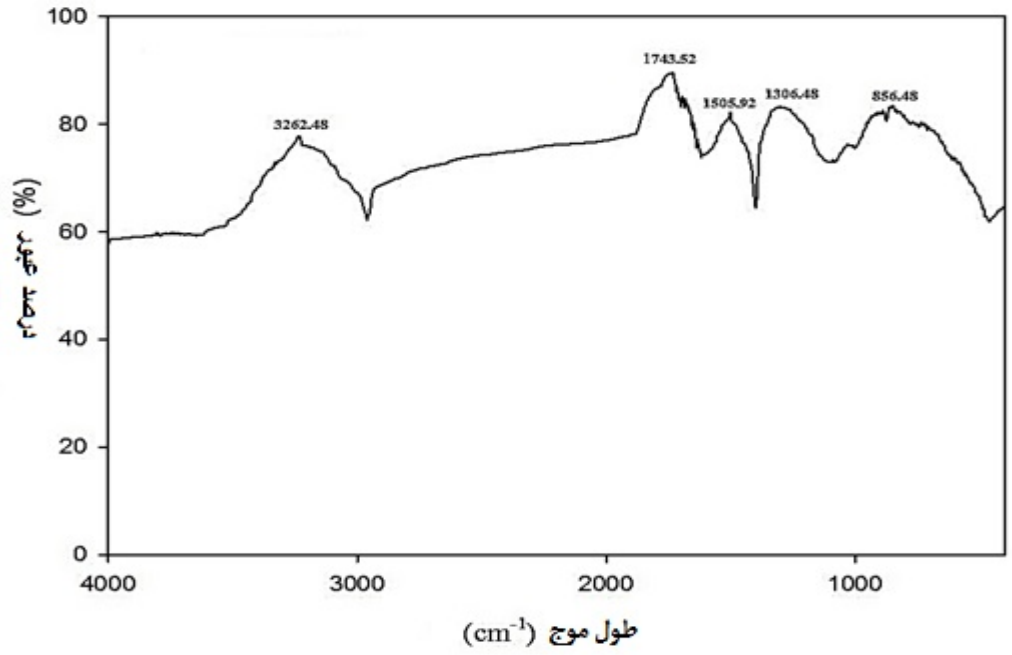
خصوصیات بیوچار

خصوصیات بیوچارهای باگاس نیشکر در دماهای مختلف در جدول (۱) ارائه شده است.

در جدول (۱) مشاهده می‌شود با افزایش درجه حرارت تولید بیوچار به علت افزایش درصد خاکستر، خروج آب و مواد فرار باگاس، بازده، درصد مقدار کربن آلی قابل اکسید و درصد ماده قابل احتراق کاهش می‌یابد. همان‌طور که قبلا ذکر گردید تهیه بیوچار در این تحقیق با هدف تولید یک منبع پایدار کربنی به‌منظور کاربرد در خاک‌های کشاورزی انجام گرفت. بیوچار وقتی در خاک‌های کشاورزی به‌کار برده می‌شود در معرض فرایندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی قرار می‌گیرد، بنابراین پایداری بیوچار به کار برده شده بسیار مهم است. در واقع شاخص پایداری کربن در بیوچار تولیدی نسبت به درصد کربن بیوچار از اهمیت بیشتری برخوردار است. بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس به دلیل داشتن بالاترین شاخص بهره‌وری مواد آلی پایدار (۷/۲ درصد) به عنوان بیوچار بهینه به‌منظور کاربرد در ستون‌های خاک انتخاب گردید. سایر خصوصیات بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱- الف) تصویر SEM باگاس نیشکر، ب) بیوچار باگاس نیشکر (بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر)



شکل ۲- طیف مادون قرمز بیوچار باگاس نیشکر

www.SID.ir

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
بافت خاک(بدون واحد)	شنی لومی	چگالی ظاهری(g/cm^3)	۱/۴۸
هدایت الکتریکی(dS/m)	۲/۶۲	تخلخل(٪)	۴۵
ظرفیت تبادل کاتیونی($cmol/kg$)	۷/۱۸	فسفر قابل جذب(mg/kg)	۹/۶۷
ظرفیت تبادل آنیونی($cmol/kg$)	۱/۱۶	کربن آلی(٪)	۰/۵۱
اسیدیته(بدون واحد)	۷/۷	ازت کل(٪)	۰/۰۴

جدول ٤- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کربن آلی	فسفر قابل جذب	ازت کل	pH	EC	CEC	AEC
تیمار	۳	۰/۰۸ *	۱۰/۱۸۹ *	۰/۰۰۰۰۹۶ *	۰/۰۰۴ *	۰/۲۸۴ *	۵/۶۸۵ *	۳۰/۶۸۳ *
تکرار	۲	۰/۰۰ ns	۰/۰۷۱ ns	۰/۰۰۰۰۰۴۲ ns	۰/۰ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۵۵ ns	۰/۰۱۱ ns
خطا	۶	۰/۰۰۱	۰/۰۸۹	۰/۰۰۰۰۰۹۲	۰/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۸۵	۰/۰۰۷
کل	۱۱							

ns: فاقد اثر معنی‌دار، *: معنی دار در سطح پنج درصد

شکل (۱) تصویر باگاس نیشکر و بیوچار آن را در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ نشان می‌دهد. عملکرد بیوچار به عنوان یک منبع غنی از کربن به شدت تحت خصوصیات منحصر به فرد آن از قبیل سطح ویژه، حجم خلل و فرج و گروه‌های عاملی آن می‌باشد (چینتالا و همکاران، ۲۰۱۳). سطح بیوچار نسبت به باگاس دارای خلل و فرج درشت که به صورت حفره‌های لانه زنبوری است می‌باشد. این شبکه لانه زنبوری در واقع بیانگر اسکلت کربن در ساختار بیوچار است (قانی و همکاران[1]، ۲۰۱۳). همچنین خلل و فرج ریز روی سطح بیوچار نسبت به باگاس بیشتر است و این می‌تواند نماینده خروج مواد فرار در اثر حرارت باشد. طیف مادون قرمز جاذب بیوچار در بازه ۴۰۰۰- ۴۰۰ cm^{-1} در شکل (۲) نشان می‌دهد که قله پهن در طول موج ۸۵۶/۴۸ cm^{-1} در اثر وجود گروه‌های عاملی C-H در بیوچار شکل می‌گیرد (چن و همکاران[2]، ۲۰۱۵).

قله موجود در طول موج ۱۳۰۶/۴۸ cm^{-1} مربوط به گروه عاملی C-N است. با توجه به اینکه این پیوند جزء گروه‌های عاملی با بار مثبت است، حضور آن باعث افزایش ظرفیت تبادلی آنیونی بیوچار می‌گردد (لیو و همکاران[3]، ۲۰۱۴). قله تشکیل شده در طول موج ۱۵۰۵/۹۲ cm^{-1} دلیلی بر وجود گروه‌های عاملی آلکن (C=C) می‌باشد (کیم و همکاران[4]، ۲۰۱۴). در ناحیه ۱۷۴۳/۵۲ cm^{-1} نیز وجود گروه‌های C=O مشهود می‌باشد. این گروه‌های عاملی وجود کربن در ساختار بیوچار تولید شده را تأیید می‌کنند و از طرفی به علت داشتن بار منفی باعث نگه‌داشت یون‌هایی با بار مثبت بر روی خود خواهند شد (قانی و همکاران، ۲۰۱۳). طول موج ۳۲۶۲/۴۸ cm^{-1} وجود گروه عاملی N-H را در بیوچار اثبات می‌کند. این گروه عاملی نیز دارای بار مثبت است و وجود آن در بیوچار باعث افزایش ظرفیت تبادلی آنیونی آن خواهد شد. در مجموع با توجه به طیف FTIR می‌توان پیش‌بینی کرد که بیوچار تولید شده قابلیت نگهداری آنیون‌ها و کاتیون‌ها (عناصر غذایی) را در محیط افزایش می‌دهد.

تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات خاک مورد مطالعه

خصوصیات اولیه خاک مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک لوم شنی در جدول (۴) نشان داده شده است.

1- Ghani *et al.*
2- Chen *et al.*
3- Luo *et al.*
4- Kim *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک

تیمار	کربن آلی (٪)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	ازت کل (٪)	pH (بدون واحد)	ECe (dS/m)	CEC (cmol/kg)	AEC (cmol/kg)
شاهد	۰/۴۹^{d*}	۹/۵۹^{d}	۰/۰۳۸^{c}	۷/۶۳^{a}	۱/۹۶^{d}	۷/۱۲^{d}	۱/۱۶^{d}
۲ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک	۰/۶۱^{c}	۱۰/۵۵^{c}	۰/۰۴۱^{b}	۷/۶۱^{a}	۲/۰۵^{c}	۸/۰۴^{c}	۴/۱۵^{c}
۵ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک	۰/۷۶^{b}	۱۱/۳۴^{b}	۰/۰۴۴^{b}	۷/۵۸^{b}	۲/۴۲^{b}	۹/۲۵^{b}	۶/۵۲^{b}
۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک	۰/۸۶^{a}	۱۳/۹^{a}	۰/۰۴۶^{a}	۷/۵۶^{b}	۲/۶۱^{a}	۱۰/۲۹^{a}	۸/۶۰^{a}

*اعداد دارای حروف غیر مشابه در یک ستون دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (سطح پنج درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که افزودن بیوچار باعث کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک خواهد شد. به‌طوری که سطوح ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث کاهش ۰/۲۶، ۰/۷۴ و ۱ درصدی اسیدیته خاک نسبت به شاهد شدند. یکی از عوامل کاهش اسیدیته خاک را می‌توان اسیدی بودن بیوچار دانست، که این خود تابعی از ماده تشکیل دهنده بیوچار (باگاس نیشکر)، شرایط پیرولیز و فعالسازی بیوچار می‌باشد. حضور گروه‌های عاملی با بار منفی بر روی سطح بیوچار باعث کاهش اسیدیته خاک می‌گردد زیرا اسیدیته از خصوصیات بار سطحی تاثیر می‌پذیرد (چینتالا و همکاران، ۲۰۱۳). پیش‌بینی می‌شود که به‌مرور زمان گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن (بار منفی) بیشتری در اثر اکسیداسیون بیوچار بر سطح آن ایجاد گردد که این عامل باعث افزایش در اسیدیته خاک خواهد شد (لاورینکو[1]، ۲۰۱۴).

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک به میزان ۵/۸۲، ۲۵ و ۳۹/۵۵ درصد نسبت به شاهد شدند. هدایت الکتریکی خاک شاهد (۱/۹۵ دسی زیمنس بر متر) در پایان آزمایش به علت آبشویی نمک‌های آن نسبت به خاک اولیه (۲/۶۲ دسی زیمنس بر متر) پایین‌تر بود. افزایش هدایت الکتریکی خاک در اثر کاربرد بیوچار احتمالاً به دلیل حضور نمک‌های محلول در بیوچار و بالاتر بودن هدایت الکتریکی آن نسبت به هدایت الکتریکی خاک می‌باشد (چیمتالا و همکاران، ۲۰۱۳). به طور یقین ثابت شده که بیوچار نمونه‌ای از یک کربن کاملاً پایدار است و رسوب کربن اولین اثر افزایش بیوچار به خاک است (کامیاما و همکاران[2]، ۲۰۱۲؛ زو و همکاران، ۲۰۱۰). به‌دلیل ترسیب کربن و بهبود کیفیت خاک توسط بیوچار تحقیقات زیادی بر روی این ماده غنی از کربن با مواد اولیه و شرایط تولید مختلف صورت گرفته است (ژانگ و سان، ۲۰۱۴؛ لایرد و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به جدول (۵) نتایج این تحقیق نشان داد اضافه کردن سطوح مختلف بیوچار به خاک باعث افزایش معنی‌دار درصد کربن آلی خاک نسبت به شاهد شد ($P<0/05$). افزایش کربن آلی خاک به دلیل تأثیرپذیری از کربن بیوچار است به طوری بخشی از کربن آلی موجود در بیوچار به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش سطح ماده آلی و بهبود خصوصیات خاک خواهد شد. بخشی دیگر از آن پس از افزوده شدن به خاک اکسید می‌شود و این اکسیداسیون منجر به تشکیل گروه‌های عاملی با بار منفی می‌گردد (لاورینکو، ۲۰۱۴). کربن آلی خاک در اثر مصرف بیوچار در سطوح مختلف از ۰/۴۹ درصد (شاهد) به ۰/۶۱ درصد (تیمار ۲ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک)، ۰/۷۴ درصد (تیمار ۵ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک) و ۰/۸۶ درصد (تیمار ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک) تغییر یافت. کاربرد تیمارهای ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش ۱۰/۰۱، ۱۸/۲۸ و ۴۴/۹۴ درصدی در فسفر قابل جذب خاک شد. با توجه به کم بودن مقدار فسفر قابل جذب بیوچار باگاس نیشکر(۰/۶۵ میلی‌گرم بر گرم)، این افزایش را می‌توان ناشی از اسیدهای آزاد شده از مواد آلی عنوان کرد. این اسیدها تثبیت فسفر در خاک را کاهش داده و آن را به صورت قابل جذب گیاه تبدیل می‌نمایند. پس از آن بیوچار باگاس نیشکر به علت داشتن ظرفیت تبادلی بالا، موجب نگه‌داشت این عناصر در خاک خواهد شد. نتایج آنالیز آماری در سطح پنج درصد نشان داد که افزودن سطوح مختلف بیوچار به خاک باعث افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب آن گردید (جدول ۴). کاربرد بیوچار در تمام سطوح سبب افزایش معنی‌دار ازت کل خاک نسبت به تیمار شاهد شد ($P<0/05$). اما بین تأثیر تیمارهای ۲ و ۵ گرم بیوچار بر میزان ازت خاک تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. تیمارهای ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک ازت کل را به ترتیب ۶/۹۶، ۲۱/۷ و ۳۱/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. افزایش ازت خاک احتمالاً ناشی از وجود نیـتروژن در ساختار بیوچار است. بدیهی است که با افزایش مقدار بیوچار در خاک، این پارامتر نیز افزایش خواهد یافت. ظرفیت تبادل آنیونی خاک در واقع شاخصی است که میزان توانایی خاک در نگهداشت و جذب آنیون‌ها را نشان می‌دهد. این پارامتر با اسیدیته خاک رابطه عکس دارد و آبشویی آنیون‌های مورد نیاز گیاه از زمین‌های کشاورزی به علت پایین بودن این خصوصیت خاک می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیوچار باگاس نیشکر اصلاح شده به دلیل حضور گروه‌های آمونیوم و گروه‌های عاملی با بار مثبت در زنجیره پلیمری خود دارای واکنش پذیری بالا و پایداری شیمیایی می‌باشد و پتانسیل جایگزینی به عنوان تبادل‌گر آنیونی را دارد (اورلاندو و همکاران[3]، ۲۰۰۲; زو و همکاران، ۲۰۱۰). این به این معناست که

1- Lawrinenko
2- Kameyama *et al.*
3- Orlando *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

این ماده غنی از کربن توانایی بالایی در افزایش ظرفیت تبادل آنیونی خاک دارد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به ظرفیت تبادل آنیونی خاک (جدول ۵)، کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمار شاهد (۱/۱۶سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک) و بیشترین در تیمار ۱۰ گرم بر کیلوگرم بیوچار (۸/۶۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک) مشاهده گردید. عوامل تاثیر گذار بر افزایش ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک در این تحقیق عبارتند از سطح ویژه بالای بیوچار، ساختار متخلخل آن و مهمتر از همه وجود گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار از جمله کربونیل، کربوکسیل و هیدروکسیل بر روی سطح بیوچار (جین و وانگ، ۲۰۱۳؛ لاورینکو، ۲۰۱۴). زیرا این گروه‌ها عاملی دارای بار منفی هستند و به عنوان پایگاهی برای جذب کاتیون‌ها می‌گردند (لاورینکو، ۲۰۱۴). نتایج تاثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک در جدول (۵) نشان می‌دهد که افزایش بیوچار موجب افزایش نسبتاً کم ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک در اسیدیته برابر هفت گردید. این خصوصیت در تیمارهای ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک به ترتیب ۱۲/۹۷، ۲۹/۹۳ و ۴۴/۶۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. علت کم بودن این افزایش اصلاح بیوچار و ایجاد گروه‌های عاملی مثبت مانند آمین و آمیدها بر روی سطح بیوچار است.

نتیجه‌گیری

ماده آلی عامل اساسی حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی است. در سال‌های اخیر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و عدم مصرف کودهای آلی موجب شده که میزان مواد آلی و به دنبال آن عملکرد محصول کاهش یابد. با توجه به این مسائل لزوم استفاده از منابع تامین‌کننده مواد آلی در خاک روز به روز بیشتر مشخص می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از بیوچار باگاس نیشکر در خاک به عنوان یک منبع کربنی علاوه بر تاثیر مثبت بر میزان مواد آلی خاک بر سایر خصوصیات شیمیایی آن تأثیر مثبت دارد. کاربرد بیوچار باگاس نیشکر با مقدار ۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک موجب بیشترین افزایش کربن آلی خاک (۷۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) گردید. علاوه بر این تیمار موجب افزایش ۳۳/۱۶ درصد در هدایت الکتریکی خاک، ۱۹/۱۳ درصد در ازت کل، ۴۴/۹۴ درصد در فسفر قابل جذب، ۴۴/۶۴ درصد در ظرفیت تبادل کاتیونی و کاهش ۱ درصد در اسیدیته خاک گردید. کمترین تأثیر کاربرد در تیمار ۲ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک مشاهده گردید که عبارتند از افزایش ۴/۵۹ درصد در هدایت الکتریکی خاک، ۶/۹۶ درصد در ازت کل، ۱۰/۰۱ درصد در فسفر قابل جذب، ۲۲/۹۷ درصد در کربن آلی، ۴۴/۶۴ درصد در ظرفیت تبادل کاتیونی. همچنین این تیمار باعث ۰/۲۶ درصد کاهش در اسیدیته خاک گردید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بدین وسیله از پرسنل آزمایشگاه‌های دانشکده مهندسی علوم آب و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز و قطب علمی مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی به دلیل کمک‌های مادی و معنوی در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی لازم را به عمل می‌آورند.

منابع

۱- محمدیان، م. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۱. ارزیابی تاثیر دو نوع کمپوست بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد ذرت. مجله علوم آب و خاک، ۱۶(۲): ۱۵۰- ۱۴۳.

۲- نبوی‌نیا ، ف. ۱۳۹۲. تاثیر ضایعات دباغی و بیوچار بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، رشد و عملکرد گیاه تربچه و هویج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی، ایران.

۳- نجمی ، ر. ۱۳۹۲. اثر سه نوع بیوچار (ذغال زیستی) بر برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

4- Asghari, S., Abbasi, F. and M. R. Neyshabouri. 2011. Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil. Biosystems Engineering, 109: 90-97.

5- Chen, L., Wang, X., Yang, H., Lu, Q., Li, D., Yang, Q. and H. Chen. 2015. Study on pyrolysis behaviors of non-woody lignins with TG-FTIR and Py-GC/MS. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 113: 499-507.

6- Chen, Y., Shinogi, Y. and M. Taira. 2010. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. Soil Research, 48: 526-530.

Archive of SID

www.SID.ir

7- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Papiernik, S. K., Malo, D. D., Clay, D. E., Kumar, S. and D. W. Gulbrandson. 2013. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. Microporous and Mesoporous Materials, 179: 250-257.

8- Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A. and J. Lehmann. 2014. Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. Soil Biology and Biochemistry, 72: 152-162.

9- Fangkum, A. and A. Reungsang. 2011. Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate by elephant dung: effects of initial pH and substrate concentration. International Journal of Hydrogen Energy, 36: 8687-8696.

10- Ghani, W. A. W. A. K., Mohd, A., Da Silva, G., Bachmann, R. T., Taufiq-Yap, Y. H., Rashid, U. and H. Ala'a. 2013. Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization. Industrial Crops and Products, 44: 18-24.

11- Harmand, J. M., Ávila, H., Oliver, R., Saint-André, L. and E. Dambrine. 2010. The impact of kaolinite and oxi-hydroxides on nitrate adsorption in deep layers of a Costarican Acrisol under coffee cultivation. Geoderma, 158: 216-224.

12- Kameyama, K., Miyamoto, T., Shiono, T. and Y. Shinogi. 2012. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcaric dark red soil. Journal of Environmental Quality. 41: 1131-1137.

13- Kim, P., Hensley, D. and N. Labbé. 2014. Nutrient release from switchgrass-derived biochar pellets embedded with fertilizers. Geoderma, 232: 341-351.

14- Knowles, O., Robinson, B., Contangelo, A. and L. Clucas. 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. Science of the Total Environment, 409: 3206-3210.

15- Kumar, S., Masto, R. E., Ram, L. C., Sarkar, P., George, J. and V. A. Selvi. 2013. Biochar preparation from Parthenium hysterophorus and its potential use in soil application. Ecological Engineering, 55: 67-72.

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

17- Lawrinenko, M. 2014. Anion exchange capacity of biochar. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Soil Science (Soil Chemistry) Major, Iowa State University Ames, Iowa.

18- Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J. and Q. Huang. 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. Catena, 123: 45-51.

19- Luo, S., Li, X., Chen, L., Chen, J., Wan, Y. and C. Liu. 2014. Layer-by-layer strategy for adsorption capacity fattening of endophytic bacterial biomass for highly effective removal of heavy metals. Chemical Engineering Journal, 239: 312-321.

20- Masto, R. E., Kumar, S., Rout, T., Sarkar, P., George, J. and L. Ram. 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. Catena, 111: 64-71.

21- Mosaddeghi, M., Sinegani, A. S., Farhangi, M., Mahboubi, A. and A. Unc. 2010. Saturated and unsaturated transport of cow manure-borne Escherichia coli through in situ clay loam lysimeters. Agriculture, Ecosystems and Environment, 137: 163-171.

22- O'Flynn, C. J., Healy, M. G., Lanigan, G. J., Troy, S. M., Somers, C. and O. Fenton. 2013. Impact of chemically amended pig slurry on greenhouse gas emissions, soil properties and leachate. Journal of Environmental Management, 128: 690-698.

Archive of SID

www.SID.ir

23- Orlando, U., Baes, A., Nishijima, W. and M. Okada. 2002. Preparation of agricultural residue anion exchangers and its nitrate maximum adsorption capacity. Chemosphere, 48: 1041-1046.

24- Rogovska, N., Laird, D. A., Rathke, S. J. and D. L. Karlen. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. Geoderma, 230: 340-347.

25- Santibáñez, C., Ginocchio, R. and M. T. Varnero. 2007. Evaluation of nitrate leaching from mine tailings amended with biosolids under Mediterranean type climate conditions. Soil Biology and Biochemistry, 39: 1333-1340.

26- Singla, A., Dubey, S. K., Singh, A. and K. Inubushi. 2014. Effect of biogas digested slurry-based biochar on methane flux and methanogenic archaeal diversity in paddy soil. Agriculture, Ecosystems & Environment 197: 278-287.

27- Xu, X., Gao, B. Y., Yue, Q. Y. and Q. Q. Zhong. 2010. Preparation and utilization of wheat straw bearing amine groups for the sorption of acid and reactive dyes from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials 182: 1-9.

28- Yuan, J. H., Xu, R. K. and H. Zhang. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology, 102: 3488-3497.

29- Zhang, H. M., Su, B. Y., Liu, P. H. and W. Zhang. 2007. Experimental study of fluorine transport rules in unsaturated stratified soil. Journal of China University of Mining and Technology, 17: 382-386.

30- Zhang, L., and X. Sun. 2014. Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. Bioresource Technology, 171: 274-284.

31- Zhi-Ming, Q., Shao-Yuan, F. and M. J. Helmers. 2012. Modeling cadmium transport in neutral and alkaline soil columns at various depths. Pedosphere, 22: 273-282.

Archive of SID

www.SID.ir