

اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی

مختار زلفی باوریانی^{۱*}، عبدالمجید رونقی^۱، نجفعلی کریمیان^۱، رضا قاسمی^۱ و جعفر یثربی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۲۳)

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثرات کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن بر ویژگی‌های شیمیایی یک نمونه خاک آهکی اجرا شد. کود مرغی و بیوچارهای تهیه شده از آن در دماهای ۲۰۰ (بیوچار ۲۰۰)، ۳۰۰ (بیوچار ۳۰۰) و ۴۰۰ (بیوچار ۴۰۰) درجه سلسیوس به میزان ۲٪ وزنی با ۴۰۰ گرم خاک مخلوط و به مدت ۱۵۰ روز خوابانده شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و فراهمی زیستی عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس در زمان‌های مختلف خواباندن اندازه‌گیری شد. تمامی منابع ماده آلی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی و مقادیر کربن آلی و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد. بیوچار تهیه شده در دمای بالاتر در افزایش کربن آلی خاک و ماندگاری آن مؤثرتر بود. کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ سبب کاهش و بیوچار ۴۰۰ سبب افزایش pH خاک شد. هرچند حداکثر قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مراحل اولیه خواباندن در خاک‌های تیمار شده با بیوچارهای ۳۰۰ و ۴۰۰ مشاهده شد، اما سرعت افزایش آن در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ شدیدتر بود. به طور کلی بیوچار ۳۰۰ بیشترین تأثیر را در بهبود قابلیت استفاده عناصر غذایی و ماندگاری آن در خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: کود مرغی، بیوچار، خاک آهکی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mzolfi2001@yahoo.com

مقدمه

خاک‌ها می‌باشد (۱۳).

مواد آلی وضعیت عناصر غذایی در خاک را به دلیل جذب سطحی و واکنش‌های کمپلکسی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵). میزان این مواد در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر مناطق جنوبی ایران پایین بوده و برای بهره‌گیری از فوائد آن، مقادیر هنگفتی از منابع مختلف مواد آلی مانند کودهای گاو، گوسفندی، و مرغی در اراضی کشاورزی مصرف می‌شود. به دلیل تجزیه سریع، اثر این مواد پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاهی به شدت کاهش یافته و یا تقریباً از بین می‌رود. لذا کشاورزان ملزم به مصرف مداوم و سالیانه این مواد در خاک هستند. این موضوع علاوه بر ایجاد مشکلات زیست‌محیطی، افزایش هزینه تولید را نیز در پی دارد. اثر بیشتر کود مرغی بر قابلیت استفاده عناصر غذایی نسبت به سایر کودهای دامی (۱۳) از یک سو و تفاوت در ویژگی‌های بیوپچار تهیه شده از آن در شرایط متفاوت از سوی دیگر، لزوم بررسی اثر بیوپچار حاصل از کود مرغی تحت دماهای متفاوت بر تغییرات شیمیایی خاک و به خصوص ماندگاری اثر آن در خاک را ضروری می‌نماید. لذا هدف از اجرای این پژوهش، بررسی روند تغییرات شیمیایی یک نمونه خاک آهکی در یک دوره ۵ ماهه در اثر کاربرد کود مرغی و بیوپچارهای تهیه شده از آن در دماهای متفاوت به منظور امکان حفظ و نگهداری ماده آلی و اثرات مثبت آن بر جنبه‌های حاصلخیزی خاک بود.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این آزمایش، خاک کافی از افق سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری شد. خاک هواخشک پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های آن تعیین شد. بافت به‌روش هیدرومتری (۱۱)، کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (۲۱)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۲۷)، واکنش خاک در خمیر اشباع (۳۷)، ماده آلی به‌روش اکسیداسیون تر (۲۴) و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش جانشین با استات سدیم (۳۶) اندازه‌گیری شدند. قابلیت

بیوپچار مواد آلی مقاوم به تجزیه بوده و حاصل حرارت دادن زیست‌توده در شرایط عدم وجود اکسیژن می‌باشد (۲۳). ماندگاری بیوپچار در خاک بسته به شرایط تولید، صدها و حتی هزاران سال برآورد شده است (۶). این امر از خروج دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای از خاک جلوگیری کرده و از افزایش روند تجمعی غلظت این گازها در اتمسفر که خطرات گرم شدن کره زمین را در پی دارد، جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، بیوپچار به‌عنوان یک ماده افزودنی مؤثر در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گزارش شده است (۳۹). ویژگی‌های شیمیایی و ترکیب ساختاری زیست‌توده اولیه بر ترکیب بیوپچار تولیدی و متعاقباً بر رفتار، کارکرد و سرنوشت آن در خاک مؤثر است. همچنین دامنه تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجاد شده در زیست‌توده در مدت اعمال آتشکافت (Pyrolysis) مانند سایش، شکستگی پیوندها و نظم مجدد ساختار ترکیبات، تحت تأثیر شرایط آتشکافت به‌خصوص شدت و مدت اعمال حرارت است (۴۱). دامنه وسیع ویژگی‌های بیوپچار حاصل از یک نوع ماده آلی بر اثر اعمال شرایط متفاوت تولید، امکان بهره‌گیری از فوائد این مواد را در شرایط مختلف اقلیمی و خاک فراهم نموده است (۹). بنابراین با توجه به هدف تولید، نوع ماده آلی اولیه و نیز ویژگی‌های خاک مورد نظر، دماهای متفاوتی جهت تولید بیوپچار به‌کار می‌رود (۱۰). شناخت تغییرات ایجاد شده بر اثر مصرف بیوپچار در خاک، می‌تواند به‌عنوان کلید مدیریتی در خاک‌های کشاورزی محسوب شود. گزارش‌های زیادی در خصوص تأثیر بیوپچار تهیه شده از منابع مختلف زیست‌توده تحت شرایط متفاوت تولید بر جنبه‌های حاصلخیزی خاک وجود دارد (۲۲) و (۳۹). تحقیقات انجام شده بر روی بیوپچار، عمدتاً در خاک‌های اسیدی بوده و در خاک‌های آهکی تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک‌های آهکی، پایین بودن قابلیت استفاده برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن، روی، منگنز و مس است که عمدتاً ناشی از pH نسبتاً بالای این

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	pH	EC _e dS m ⁻¹	CEC cmol _c kg ⁻¹	CCE %	O.C %	P _{ava.}	K _{ava.}	Fe _{ava.}	Mn _{ava.}	Zn _{ava.}	Cu _{ava.}	بافت
۰-۳۰	۷/۹۰	۳/۹۰	۸	۵۸	۰/۴۳	۶/۶	۱۴۰	۲/۸۰	۷/۱۰	۰/۷۱۰	۰/۴۹	لوم شنی

آزمایشی در زمان‌های یک، ۱۵، ۴۵ و ۱۵۰ روز از شروع خواباندن نمونه برداری و برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی آماده شدند. pH و قابلیت هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۵ خاک به آب (۳۰) و سایر ویژگی‌ها مشابه روش‌های ذکر شده قبلی تعیین شد. تجزیه آماری داده‌ها و روابط رگرسیونی مربوطه با نرم افزارهای SPSS و SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و منابع ماده آلی

pH بالا، مقدار زیاد کربنات کلسیم معادل، پایین بودن قابلیت استفاده برخی عناصر غذایی و نیز مقدار کم کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، از مهم‌ترین مشخصه‌های خاک مورد مطالعه بود (جدول ۱). افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و نیز غلظت کربن، فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در بیوجارهای تولیدی نسبت به زیست‌توده اولیه و نیز تشدید این روند با افزایش دمای آتشکافت از مهم‌ترین مشخصه‌های بیوجارهای حاصل از کود مرغی بود (جدول ۲). کاهش پ-هاش و غلظت نیتروژن در بیوجار تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس نسبت به کود مرغی و افزایش آنها در بیوجار تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس از دیگر نتایج تغییرات شیمیایی ایجاد شده در بیوجارهای تولید شده بود (جدول ۲).

براساس نتایج حاصل از تجزیه آماری، اثرات اصلی و متقابل فاکتورها بر مقادیر کربن آلی، pH، قابلیت هدایت الکتریکی خاک و نیز قابلیت استفاده عناصر غذایی فسفر، آهن، منگنز، روی و مس در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، اما ظرفیت تبادل کاتیونی و قابلیت استفاده پتاسیم در خاک تنها تحت تأثیر اثرات

استفاده عناصر غذایی فسفر (۲۵)، پتاسیم (۱۷) و عناصر کم‌مصرف (۲۰) نیز تعیین شد. از کوره الکتریکی (Heraeus مدل K-۱۲۵۲) به منظور تهیه بیوجار استفاده شد. بیوجار به‌طور جداگانه در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس و با زمان ماندگاری ۴ ساعت در شرایط عدم وجود اکسیژن آزاد از کود مرغی تهیه شد. برخی ویژگی‌های بیوجارها از جمله مقدار کل عناصر کربن، هیدروژن و نیتروژن با استفاده از دستگاه CHN Elemental Analyzer (Carlo-Erba NA-1500). قابلیت هدایت الکتریکی و pH در نسبت ۱:۵ نمونه به آب (۳۰) و مقدار کل سایر عناصر به‌روش هضم در اسید (۴۲) تعیین شد. همچنین عملکرد بیوجار که نشان‌دهنده نسبت تبدیل کود مرغی به بیوجار است با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

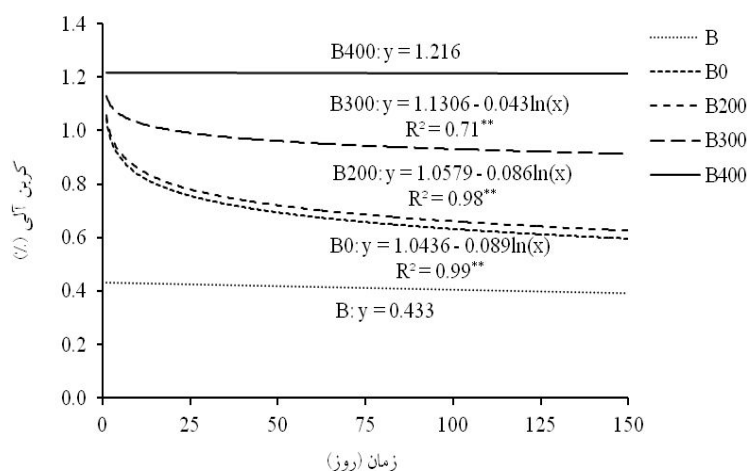
$$\text{Yield}(\%) = \frac{B}{M} \times 100 \quad [1]$$

در این معادله M وزن مقدار مشخصی کود مرغی قبل از تبدیل به بیوجار و B وزن بیوجار حاصل از آن برحسب گرم می‌باشد.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. منابع ماده آلی در پنج سطح (بدون ماده آلی، کود مرغی و بیوجارهای تهیه شده از آن در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) به‌عنوان عامل اصلی و زمان نمونه‌برداری نیز در چهار سطح (۱، ۱۵، ۴۵ و ۱۵۰ روز پس از شروع خواباندن) به‌عنوان عامل فرعی بود. کود مرغی و سه نوع بیوجار تهیه شده از آن به‌طور جداگانه به میزان دو درصد وزنی با نمونه‌های ۴۰۰ گرمی خاک آهکی به‌طور کامل مخلوط و به همراه تیمار شاهد (بدون ماده آلی) به مدت ۵ ماه در شرایط حدود رطوبت مزرعه و دمای ۲۵ درجه سلسیوس در ظروف پلی‌اتیلنی خوابانده شدند. از هرکدام از ظروف

جدول ۲. برخی ویژگی‌های کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن در دمای متفاوت

منابع ماده آلی				ویژگی
بیوچار ۴۰۰	بیوچار ۳۰۰	بیوچار ۲۰۰	کود مرغی	
۶۳/۹	۷۱/۰	۹۵/۸	-	عملکرد (%)
۹/۹۸	۷/۳۰	۷/۲۰	۷/۳۸	pH
۱۵/۳	۸/۹۶	۸/۵۹	۶/۰۶	قابلیت هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)
۴۷/۹	۴۲/۴	۳۹/۷	۳۹/۵	کربن کل (%)
۴/۷۰	۳/۸۰	۳/۵۳	۳/۷۸	نیتروژن کل (%)
۱/۷۲	۱/۲۶	۱/۰۴	۱/۰۴	فسفر کل (%)
۵/۵۹	۴/۱۳	۳/۳۹	۳/۳۴	پتاسیم کل (%)
۱۷۰۱	۱۲۲۲	۱۰۶۰	۱۰۲۲	آهن کل (μg g ⁻¹)
۸۹۵	۷۲۱	۵۶۵	۵۳۸	روی کل (μg g ⁻¹)
۶۶۷	۴۹۳	۴۳۱	۴۱۷	منگنز کل (μg g ⁻¹)
۱۶۴	۱۱۳/۹	۹۹/۶	۹۷/۹	مس کل (μg g ⁻¹)



شکل ۱. رابطه بین میزان کربن آلی خاک با زمان انکوباسیون در تیمارهای مختلف

اصلی منابع ماده آلی بود (جدول ۳).

با گذشت زمان، تغییر معنی‌داری در میزان کربن آلی خاک در تیمارهای شاهد و بیوچار ۴۰۰ (B_{۴۰۰}) ایجاد نشد، اما در تیمارهای کود مرغی و بیوچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ (B_{۲۰۰}) به صورت لگاریتمی کاهش یافت (شکل ۱). هرچند شیب کاهش در ابتدای دوره در سه تیمار شدید بود، اما شدت آن در تیمارهای کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ بیشتر از بیوچار ۳۰۰ بود. تأثیر حداکثری تیمار بیوچار ۴۰۰ در افزایش کربن آلی خاک تا آخرین مرحله نمونه‌برداری حفظ شد. با در نظر گرفتن غلظت

کربن آلی
کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن، سبب افزایش معنی‌دار میزان کربن آلی خاک نسبت به تیمار شاهد (B) شد. تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کود مرغی (B_۰) و بیوچار ۲۰۰ (B_{۲۰۰}) وجود نداشت، اما بیوچارهای تهیه شده در دمای بالاتر تأثیر بیشتری بر افزایش میزان کربن آلی خاک داشت (شکل ۱).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک

میانگین مربعات											درجه آزادی	منابع تغییر
Cu _{ava}	Mn _{ava}	Zn _{ava}	Fe _{ava}	P _{ava}	K _{ava}	CEC	EC	pH	OC	OC		
۲/۱۵ ^{**}	۳۰/۱ ^{**}	۸۶/۱ ^{**}	۳/۵۶ ^{**}	۱۸۹۸۲ ^{**}	۲۶۷۹۰۵۱ ^{**}	۲/۷۱ ^{**}	۰/۶۴۱ ^{**}	۱/۲۸ ^{**}	۱/۰۵ ^{**}	۱/۰۵ ^{**}	۴	منابع ماده آلی
۰/۰۶۵	۰/۷۹۲	۰/۱۶۵	۰/۰۲۵	۷/۷۸	۲۴۰۵	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۰	خطا
۰/۱۳۲ ^{**}	۴۰۶ ^{**}	۱/۲۷ ^{**}	۲/۴۷ ^{**}	۴۹۳۱ ^{**}	۱۴۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۴۸۱ ^{**}	۰/۲۴۲ ^{**}	۰/۱۲۵ ^{**}	۰/۱۲۵ ^{**}	۳	زمان نمونه‌برداری
۰/۰۲۳ ^{**}	۲۶/۵ ^{**}	۰/۹۴۸ ^{**}	۰/۲۳۲ ^{**}	۶۲۲ ^{**}	۳۵۳۳ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}	۰/۰۲۶ ^{**}	۰/۰۱۴ ^{**}	۰/۰۲۴ ^{**}	۰/۰۲۴ ^{**}	۱۲	اثرات متقابل
۰/۰۰۳	۰/۴۸۵	۰/۱۲۰	۰/۰۴۰	۱۰/۹	۲۸۸۳	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۳۰	خطای کل
۴/۷۱	۴/۴۳	۷/۰۷	۷/۹۴	۴/۵۳	۶/۱۲	۱/۶۰	۶/۰۷	۰/۴۶۱	۳/۸۳	۳/۸۳	(۱)	ضریب تغییرات (%)

* و **: به ترتیب در سطح ۵ و یک درصد معنی‌دار است.

ns: از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

جدول ۴. اثر منابع مختلف ماده آلی بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در زمان‌های مختلف نمونه برداری

میانگین	زمان نمونه برداری (روز)				منابع ماده آلی
	۱۵۰	۴۵	۱۵	۱	
	ب- هاش				
۷/۶۸ ^B	۷/۷۰ ^{fg}	۷/۶۰ ^h	۷/۶۳ ^{fh}	۷/۸۰ ^{e*}	بدون ماده آلی
۷/۴۹ ^D	۷/۵۳ ⁱ	۷/۴۰ ^{jk}	۷/۳۳ ^k	۷/۷۰ ^{fh}	کود مرغی
۷/۵۰ ^D	۷/۵۲ ⁱ	۷/۳۳ ^k	۷/۴۳ ^j	۷/۷۰ ^f	بیوچار ۲۰۰
۷/۶۴ ^C	۷/۶۳ ^{fh}	۷/۵۰ ⁱ	۷/۶۳ ^{fh}	۷/۸۰ ^e	بیوچار ۳۰۰
۸/۲۸ ^A	۸/۱۳ ^d	۸/۲۰ ^c	۸/۳۰ ^b	۸/۵۰ ^a	بیوچار ۴۰۰
	قابلیت هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)				
۰/۲۶۵ ^B	۰/۳۲۶ ^f	۰/۲۵۴ ^g	۰/۲۴۳ ^g	۰/۲۳۸ ^g	بدون ماده آلی
۰/۷۸۶ ^A	۱/۱۸ ^a	۰/۷۹۶ ^c	۰/۶۴۱ ^d	۰/۵۲۴ ^e	کود مرغی
۰/۷۶۸ ^A	۱/۱۷ ^a	۰/۷۵۰ ^c	۰/۶۵۲ ^d	۰/۴۹۵ ^e	بیوچار ۲۰۰
۰/۷۷۰ ^A	۰/۹۶۰ ^b	۰/۷۸۰ ^c	۰/۷۴۷ ^c	۰/۵۹۵ ^d	بیوچار ۳۰۰
۰/۸۰۱ ^A	۰/۹۷۶ ^b	۰/۸۱۶ ^c	۰/۷۵۱ ^c	۰/۶۶۱ ^d	بیوچار ۴۰۰

*: میانگین‌هایی دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

این تغییرات با توجه به pH منابع مواد آلی مورد استفاده دور از انتظار نیست. با گذشت زمان خواباندن در تمامی تیمارها، کاهش در pH خاک مشاهده شد. حداقل pH در تیمار کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ به ترتیب در زمان‌های ۱۵ و ۴۵ روز پس از شروع خواباندن مشاهده شد. روند کاهش در pH خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ نیز ادامه یافت و در ۴۵ روز پس از شروع خواباندن کمتر از تیمار شاهد بود. در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ افزایش معنی دار pH در آخرین مرحله نمونه برداری نسبت به مرحله قبلی مشاهده شد. هرچند روند کاهش pH در خاک تیمار شده با بیوچار ۴۰۰ تا آخرین مرحله نمونه برداری ادامه داشت، اما در تمامی مراحل نمونه برداری میزان pH در این تیمار بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). ضرائب همبستگی بین pH و میزان کربن آلی خاک نشان داد که با گذشت زمان خواباندن، همبستگی بین این دو پارامتر افزایش یافت (جدول ۵). این امر مؤید تأثیر کربن ناشی از بیوچار

کربن و عملکرد بیوچار (جدول ۲)، مقدار کربن باقیمانده در ۱۰۰ گرم کود مرغی پس از تبدیل به بیوچارهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰، از ۳۹/۵ به ترتیب به ۳۸/۱، ۳۰/۱ و ۳۰/۶ گرم کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که بیشتر بودن مقدار کربن در خاک‌های تیمار شده با بیوچار نسبت به کود مرغی به‌ویژه در مراحل پایانی انکوباسیون، احتمالاً ناشی از مقاومت بیشتر بیوچار به تجزیه است. بیوچار از ترکیبات آروماتیک پایدار تشکیل شده (۲۸) و افزایش درجه حرارت در تولید آن سبب افزایش ترکیبات آروماتیک پایدار و خشبی شدن بیشتر مواد آلی و در نتیجه افزایش مقاومت آن در برابر تجزیه می‌شود (۱۶).

pH

در زمان یک روز از شروع خواباندن، کاربرد کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ سبب کاهش، اما بیوچار ۴۰۰ سبب افزایش معنی دار pH خاک نسبت به تیمار شاهد شد و بیوچار ۳۰۰ بدون تغییر بود (جدول ۴).

جدول ۵. ضرائب همبستگی بین کربن آلی و pH با قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

زمان نمونه‌برداری	pH	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
کربن آلی							
۱	۰/۳۷۵	۰/۸۴۴**	۰/۹۳۷**	۰/۳۴۵	۰/۸۳۵**	۰/۶۷۵**	۰/۶۱۱*
۱۵	۰/۵۴۸*	۰/۹۵۲**	۰/۹۵۸**	۰/۱۴۱	۰/۶۵۸**	۰/۸۰۴**	۰/۴۱۲
۴۵	۰/۶۶۰**	۰/۷۲۸**	۰/۹۵۲**	۰/۰۶۹	۰/۴۸۵	۰/۴۱۶	۰/۳۴۸
۱۵۰	۰/۷۲۵**	۰/۷۱۱**	۰/۹۰۵**	۰/۱۰۸	۰/۵۷۱*	۰/۵۵۳*	۰/۲۳۶
pH							
۱	۰/۶۷۱**	۰/۶۶۳**	۰/۶۵۷**	۰/۶۶۳**	۰/۱۱۴	۰/۲۸۰	۰/۴۷۵
۱۵	۰/۳۳۰	۰/۵۵۲*	۰/۵۵۲*	۰/۶۳۱*	۰/۲۴۱	۰/۰۳۱	۰/۴۸۱
۴۵	۰/۰۰۸	۰/۵۷۹*	۰/۵۷۹*	۰/۶۹۴**	۰/۲۹۲	۰/۳۶۸	۰/۴۳۲
۱۵۰	۰/۰۸۴	۰/۴۸۸	۰/۴۸۸	۰/۷۱۹**	۰/۰۹۶	۰/۱۰۱	۰/۴۲۲

* و **: همبستگی به ترتیب در سطح ۵ و یک درصد معنی‌دار است.

بیوپچارهای حاصل از آن سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی خاک شد. در هر کدام از مراحل نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری بین کود مرغی و بیوپچار ۲۰۰ و همچنین بین بیوپچار ۳۰۰ و ۴۰۰ وجود نداشت (جدول ۴). در مراحل اولیه خواباندن، خاک‌های تیمار شده با بیوپچار ۳۰۰ و یا ۴۰۰ تأثیر بیشتری بر افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک داشت. با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی مواد آلی مذکور این نتایج دور از انتظار نیست. با گذشت زمان خواباندن قابلیت هدایت الکتریکی خاک در تمامی تیمارهای مواد آلی افزایش یافت. روند سریع افزایش در قابلیت هدایت الکتریکی خاک در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوپچار ۲۰۰ را می‌توان به تجزیه سریع‌تر این مواد نسبت به بیوپچارهای تهیه شده در دمای بالاتر و در نتیجه تولید بیشتر یا سریع‌تر نمک‌های محلول نسبت داد (۳۵). بیوپچار تهیه شده در دمای بالاتر قابلیت هدایت الکتریکی بیشتری داشته (۷) و کاربرد آن در خاک با افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک همراه است (۲۲).

ظرفیت تبادل کاتیونی

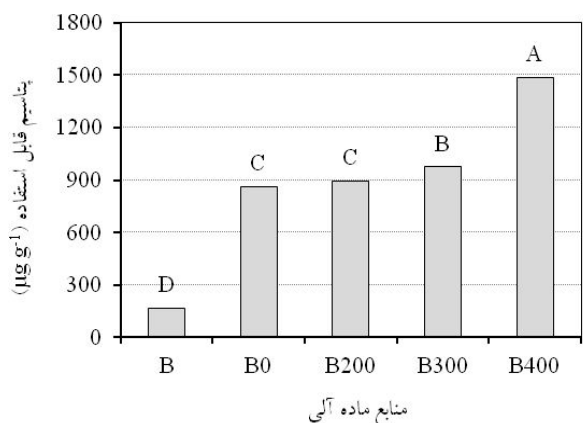
کاربرد تمامی منابع ماده آلی با افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی همراه بود. میزان تأثیر کود مرغی و بیوپچار تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

۴۰۰ در افزایش pH خاک می‌باشد، زیرا در مراحل آخر خواباندن، میزان کربن خاک عمدتاً تحت تأثیر بیوپچار ۴۰۰ بود. به نظر می‌رسد تجزیه سریع کود مرغی و بیوپچار تهیه شده از آن در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، روند کاهش در pH خاک را سبب شده است.

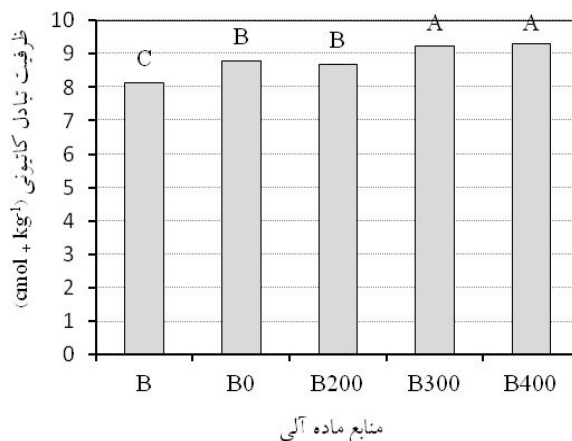
احتمالاً آهکی بودن خاک و در نتیجه ظرفیت بافتری زیاد آن، سبب افزایش pH در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوپچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ و سیر آن به سمت تعادل در آخرین مرحله نمونه‌برداری شده است. همین امر ادامه کاهش در pH خاک تیمار شده با بیوپچار ۴۰۰ را با توجه به بالاتر بودن آن نسبت به پ-هاش اولیه خاک سبب شده است. pH بیوپچار در دامنه نسبتاً اسیدی تا قلیایی متغیر است و افزایش دمای آتشکافت، عموماً سبب افزایش pH بیوپچار می‌شود (۳۰). پایین بودن pH کود مرغی و بیوپچار ۲۰۰ به تولید اسیدهای آلی و ترکیبات فنلی ناشی از تجزیه سلولز و همی سلولز نسبت داده شده است (۲). افزایش نسبی فلزات قلیایی در بیوپچار، می‌تواند توجیه‌کننده افزایش pH بسیاری از بیوپچارها باشد (۱۸). افزایش pH خاک در اثر کاربرد بیوپچار حاصل از لجن فاضلاب در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس نیز گزارش شده است (۲۲).

قابلیت هدایت الکتریکی

در تمامی مراحل نمونه‌برداری، کاربرد کود مرغی و



شکل ۳. قابلیت استفاده پتاسیم در تیمارهای منابع مختلف ماده آلی



شکل ۲. ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمارهای منابع مختلف ماده آلی

نشان‌دهنده تأثیر مثبت مواد آلی در افزایش قابلیت استفاده این عنصر غذایی در خاک بود (جدول ۵). با توجه به افزایش غلظت پتاسیم در ساختار بیوپچار با افزایش دمای آتشکافت (جدول ۳)، این نتایج دور از انتظار نمی‌باشد. تصعید عناصر مختلف از ساختار زیست‌توده در اثر تبدیل آن به بیوپچار، تحت تأثیر دمای تصعید این عناصر می‌باشد (۱۹). فسفر و پتاسیم در دامنه ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سلسیوس تصعید می‌شوند (۷). با توجه به این‌که حداکثر دمای اعمال شده در این آزمایش ۴۰۰ درجه سلسیوس بود، انتظار می‌رود با افزایش دمای آتشکافت و تصعید برخی از عناصر، بیوپچار حاصله از عناصری مانند فسفر و پتاسیم غنی‌تر شود. ضمن این‌که افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در اثر افزودن بیوپچار به خاک نیز گزارش شده است (۳۴). این عوامل می‌تواند در افزایش فراهمی عنصر مذکور مؤثر باشد. غلظت پتاسیم و فسفر در اثر تبدیل کود مرغی به بیوپچار در شرایط متفاوت تولید به میزان ۲/۸ تا ۷ برابر افزایش یافته و می‌تواند به‌عنوان منبع عناصر غذایی در کشاورزی مورد استفاده گیرد (۱۷).

قابلیت استفاده فسفر

در تمامی مراحل نمونه‌برداری، کاربرد کود مرغی و بیوپچارهای حاصل از آن سبب افزایش معنی‌دار قابلیت استفاده فسفر در خاک نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴). وجود همبستگی

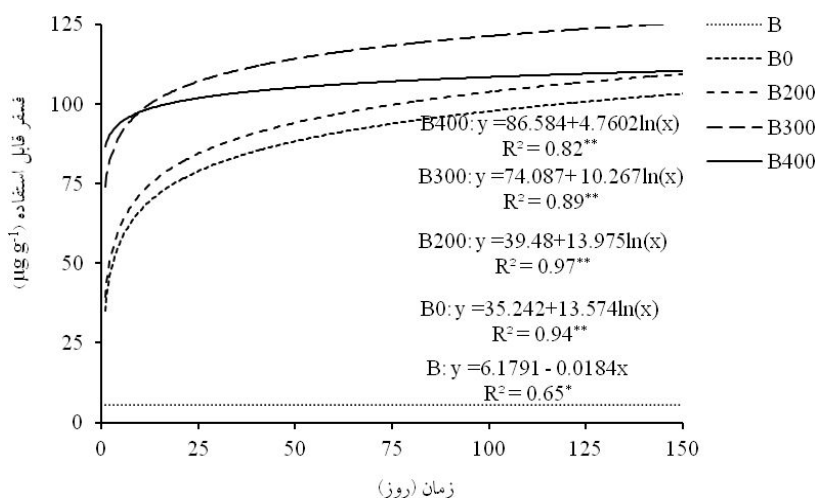
مشابه بود. هرچند تفاوت معنی‌داری بین خاک‌های تیمار شده با بیوپچار ۳۰۰ و ۴۰۰ از نظر ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده نشد، اما میزان تأثیر آنها بیشتر از کود مرغی و بیوپچار ۲۰۰ بود (شکل ۲).

تأثیر بیوپچار بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، به ویژگی‌ها و مدت زمان مصرف بیوپچار در خاک بستگی دارد. به‌طوری‌که در برخی موارد افزایش دما سبب کاهش (۱۰) و در برخی موارد سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی بیوپچار تولیدی شده است (۳۰). افزایش دمای آتشکافت تا حدودی با افزایش تخلخل و سطح ویژه و نیز افزایش گروه‌های کربوکسیل در بیوپچار، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود (۴). افزایش ۱۴ درصدی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر افزایش ۳ درصدی بیوپچار تهیه شده از کاه برنج در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس در یک خاک اسیدی گزارش شده است (۱۴).

قابلیت استفاده پتاسیم

هرچند کاربرد کود مرغی سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم در خاک شد، اما کاربرد بیوپچار تهیه شده از آن در دمای بالاتر با افزایش بیش از پیش قابلیت استفاده این عنصر غذایی در خاک همراه بود (شکل ۳).

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مقدار کربن آلی خاک و پتاسیم قابل استفاده در تمامی مراحل نمونه‌برداری نیز



شکل ۴. رابطه فسفر قابل استفاده در خاک با زمان انکوباسیون در تیمارهای مختلف

مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها، ترکیبات آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک افزایش می‌یابد (۲۶). این ترکیبات با مکانیسم‌های متفاوت می‌توانند در افزایش فراهمی فسفر در خاک مؤثر باشند (۱۳).

با گذشت زمان، میزان تولید این ترکیبات در اثر تجزیه ماده آلی کاهش یافته و بنابراین تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر با گذشت زمان کاهش می‌یابد (۱). از سوی دیگر، با افزایش مقاومت به تجزیه در اثر تبدیل کود مرغی به بیوجار و نیز بیشتر شدن این مقاومت با افزایش دمای آتشکافت (۳۴)، انتظار می‌رود در مراحل اولیه خواباندن سرعت رهاسازی فسفر در اثر تجزیه بیوجار کمتر از زیست‌توده اولیه باشد و با افزایش دمای آتشکافت کاهش بیشتری را شاهد باشیم. ماندگاری طولانی مدت اثر بیوجار بر ویژگی‌های خاک به دلیل مقاومت بیشتر آن به تجزیه می‌باشد (۸). به نظر می‌رسد افزایش پ‌هاس در خاک تیمار شده با بیوجار ۴۰۰ در کمتر بودن فراهمی فسفر در آن نسبت به بیوجار ۳۰۰ بی‌تأثیر نباشد.

قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف

یک روز پس از خواباندن، کاربرد کود مرغی و بیوجارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ سبب افزایش معنی‌دار قابلیت استفاده آهن در خاک

مثبت و معنی‌دار بین کربن آلی و فسفر نیز نشان‌دهنده تأثیر مواد آلی مورد مطالعه در افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک می‌باشد (جدول ۵). در زمان یک روز پس از شروع خواباندن، بیوجارهای تهیه شده در دمای بالاتر به دلیل غنی‌تر بودن تأثیر بیشتری بر افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک داشت (شکل ۴).

میزان تأثیر مواد آلی در افزایش فراهمی فسفر در خاک به مقدار فسفر آنها بستگی دارد (۲۹). در تمامی منابع ماده آلی با گذشت زمان خوابانیدن، قابلیت استفاده فسفر در خاک به صورت لگاریتمی افزایش یافت (شکل ۴). شیب افزایش در ابتدای خواباندن در تمامی منابع مواد آلی زیاد بود اما با گذشت زمان کاهش یافت. روند افزایش در تیمارهای کود مرغی و بیوجار ۲۰۰ شدیدتر از بیوجار ۳۰۰ و در بیوجار ۴۰۰ بسیار جزئی بود. براساس گزارشات موجود آزاد سازی فسفر از کود دامی به فاز محلول خاک در ابتدا سریع بوده و با گذشت زمان با سرعت کمتری ادامه می‌یابد (۱۲). قابلیت جذب فسفر خاک با سرعت تجزیه میکروبی بقایای آلی خاک تغییر کرده و مقدار و چگونگی این تغییر به مقدار مواد آلی و نوع آن بستگی دارد (۲۹). به نظر می‌رسد سرعت تجزیه بیشتر بیوجار تهیه شده در دمای پایین مشابه ماده خام اولیه سرعت آزادسازی بیشتر فسفر در محلول خاک را در پی داشته است. در مراحل اولیه تجزیه

جدول ۶. تأثیر کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن بر قابلیت استفاده برخی عناصر غذایی در خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

تیمار مواد آلی	زمان نمونه‌برداری (روز)	آهن	منگنز	روی	مس
			(میکروگرم در گرم)		
شاهد	۱	۲/۱۲ ^{hi}	۷/۸۹ ^l	۱/۰۰ ^g	۰/۶۰۱ ^f
	۱۵	۲/۰۳ ⁱ	۷/۶۵ ^l	۱/۰۳ ^g	۰/۵۸۰ ^f
	۴۵	۲/۰۰ ⁱ	۷/۸۳ ^l	۱/۱۰ ^g	۰/۵۲۶ ^f
	۱۵۰	۱/۶۴ ^j	۶/۵۴ ^l	۰/۹۷۳ ^g	۰/۵۵۰ ^f
کود مرغی	۱	۳/۷۱ ^b	۲۷/۸ ^b	۵/۴۶ ^d	۱/۶۶۹ ^a
	۱۵	۲/۸۴ ^{cd}	۱۷/۸ ^e	۵/۴۸ ^d	۱/۴۲۹ ^{bc}
	۴۵	۲/۸۲ ^{cde}	۱۵/۵ ^{gh}	۵/۳۲ ^d	۱/۳۵۳ ^{cd}
	۱۵۰	۲/۲۱ ^{hi}	۱۱/۸ ^k	۴/۶۸ ^e	۱/۳۶۱ ^{cd}
بیوچار ۲۰۰	۱	۴/۱۱ ^a	۲۶/۵ ^c	۶/۳۲ ^c	۱/۷۴۶ ^a
	۱۵	۳/۱۱ ^c	۱۶/۰ ^{fg}	۵/۴۲ ^d	۱/۴۹۲ ^b
	۴۵	۲/۸۷ ^{cd}	۱۶/۸ ^{ef}	۵/۳۲ ^d	۱/۳۵۸ ^{cd}
	۱۵۰	۲/۲۷ ^{hi}	۱۲/۴ ^{jk}	۴/۶۷ ^e	۱/۳۱۶ ^d
بیوچار ۳۰۰	۱	۳/۰۹ ^c	۳۱/۸ ^a	۹/۰۵ ^a	۱/۷۰۰ ^a
	۱۵	۲/۸۱ ^{cdef}	۱۷/۰ ^{ef}	۸/۵۰ ^{ab}	۱/۴۷۳ ^b
	۴۵	۲/۷۱ ^{defg}	۱۶/۲ ^{fg}	۸/۳۵ ^b	۱/۴۹۱ ^b
	۱۵۰	۲/۴۶ ^{efgh}	۱۴/۵ ^{hi}	۸/۰۹ ^b	۱/۴۴۱ ^{bc}
بیوچار ۴۰۰	۱	۲/۱۰ ^{hi}	۲۲/۳ ^d	۳/۶۶ ^f	۰/۹۳۱ ^e
	۱۵	۲/۰۸ ^{hi}	۱۴/۲ ⁱ	۵/۵۹ ^d	۰/۹۲۵ ^e
	۴۵	۲/۰۰ ⁱ	۱۳/۳ ^{ij}	۳/۵۲ ^f	۰/۹۵۹ ^e
	۱۵۰	۱/۵۹ ^j	۱۱/۷ ^k	۴/۵۷ ^e	۰/۹۵۹ ^e

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از نظر آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

خاک‌های تیمار شده با بیوچار ۲۰۰، کود مرغی و بیوچار ۴۰۰ به ترتیب در مراتب بعدی قرار گرفتند. با گذشت زمان، فراهمی این دو عنصر غذایی در تمامی تیمارهای ماده آلی کاهش یافت. سرعت کاهش در خاک‌های تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ و به‌خصوص بیوچار ۴۰۰ کمتر از دو نوع دیگر ماده آلی بود (جدول ۶). این امر باعث شد که در پایان خواباندن میزان فراهمی منگنز و روی در خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ بیش از سایر منابع ماده آلی باشد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کربن آلی و قابلیت استفاده منگنز و روی به‌خصوص در مراحل اولیه خواباندن نیز نشان‌دهنده تأثیر مثبت ماده آلی بر افزایش فراهمی این عناصر غذایی در خاک می‌باشد (جدول ۵).

نسبت به تیمار شاهد شد. در این راستا میزان تأثیر بیوچار ۲۰۰ بیش از دو نوع دیگر ماده آلی بود. با گذشت زمان، قابلیت استفاده آهن در خاک در تیمارهای کود مرغی و بیوچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کاهش یافت. شدت کاهش در خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ کمتر از دو نوع دیگر ماده آلی بود. میزان آهن قابل استفاده در تمامی این تیمارها تا آخرین مرحله خواباندن بیش از تیمار شاهد بود، اما تفاوت معنی‌داری بین خاک تیمار شده با بیوچار ۴۰۰ و تیمار شاهد مشاهده نشد (جدول ۶). تأثیر منابع مختلف مواد آلی بر قابلیت استفاده روی و منگنز در خاک تقریباً مشابه بود. یک روز پس از شروع خواباندن، حداکثر فراهمی این عناصر در خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ مشاهده شد.

توجه به ساختار سخت بیوپچار در خاک و افزایش مقاومت آن به تجزیه با افزایش دمای آتشکافت (۳۵)، انتظار می‌رود کمپلکس‌های ایجاد شده یون‌های فلزی با بیوپچار پایدارتر از سایر منابع ماده آلی باشد (۲۳). ماندگاری طولانی مدت اثر بیوپچار بر قابلیت استفاده عناصر غذایی و ویژگی‌های خاک، به دلیل مقاومت بیشتر آن به تجزیه گزارش شده است (۸). هرچند تبدیل کود مرغی به بیوپچار و نیز افزایش دمای آتشکافت غنی‌تر شدن آن را در پی داشت، اما افزایش pH بیوپچار با افزایش دمای آتشکافت به ۴۰۰ درجه سلسیوس، در کاهش قابلیت استفاده این عناصر در خاک مؤثر بود. بیوپچار از طریق تغییر pH می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد (۳۱). وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین pH و قابلیت استفاده این عناصر در خاک نیز مؤید این موضوع است (جدول ۵).

نتیجه‌گیری کلی

هرچند بیوپچارهای تهیه شده در دمای بالاتر تأثیر بیشتری بر حفظ و نگهداری کربن در خاک داشت، اما این افزایش دما تنها تا ۳۰۰ درجه سلسیوس بر سایر ویژگی‌های شیمیایی خاک مطلوب بود. افزایش در pH خاک و تأثیر منفی آن بر فراهمی برخی عناصر غذایی از جنبه‌های منفی کاربرد بیوپچار تولیدی در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس در خاک آهکی مورد مطالعه بود. ویژگی‌های بیوپچار تولیدی در ۲۰۰ درجه سلسیوس تفاوت قابل ملاحظه‌ای با زیست‌توده اولیه نداشت. تبدیل کود مرغی به بیوپچار در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس ضمن اینکه تاحدی در حفظ و نگهداری کربن در خاک مؤثر بود، از نظر افزایش فراهمی برخی عناصر غذایی در خاک و حفظ و دوام آن، مؤثرتر از کود مرغی و بیوپچار تولیدی در سایر دماها بود. پیشنهاد می‌شود تأثیر دمای آتشکافت در دامنه ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سلسیوس بر ویژگی‌های بیوپچار تولیدی و تأثیر آن بر ویژگی‌های خاک و تولید محصول مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به غنی بودن کود مرغی از نیتروژن، پیشنهاد

هرچند قابلیت استفاده مس در خاک در یک روز پس از شروع خواباندن در تمامی منابع ماده آلی بیش از تیمار شاهد بود، اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کود مرغی و بیوپچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ وجود نداشت (جدول ۶). با گذشت زمان خوابانیدن، قابلیت استفاده مس در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوپچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کاهش یافت، اما تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های ۱۵، ۴۵ و ۱۵۰ روز در هرکدام از تیمارهای کود مرغی و یا بیوپچار ۳۰۰ وجود نداشت. قابلیت استفاده مس در خاک تیمار شده با بیوپچار ۴۰۰ کمتر از سایر منابع ماده آلی بود و با گذشت زمان تغییری در آن مشاهده نشد. تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک تحت تأثیر ویژگی‌های مواد آلی و خاک می‌باشد. با تجزیه مواد آلی، عناصر غذایی موجود در آن آزاد می‌شود (۴۰). سرعت زیاد تجزیه کود مرغی و بیوپچار تهیه شده از آن در دمای پایین (۳۵)، رهاسازی سریع‌تر عناصر موجود در ساختار آنها را سبب شده است. احتمالاً آهکی بودن خاک و pH نسبتاً بالای آن، کاهش سریع قابلیت استفاده عناصر آزاد شده را سبب شده است. برخی منابع افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف را در اثر کاربرد بیوپچار در خاک (۸، ۲۳) و برخی کاهش آن را (۱۸) گزارش کرده‌اند. تأثیر بیوپچار بر قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک به دمای تولید آن بستگی دارد. اثرات متقابل خاک با بیوپچارهای تولیدی در حرارت کم، بیشتر از بیوپچارهای تولیدی در حرارت بالا می‌باشد (۱۵). این نوع بیوپچار در خاک فعال‌تر بوده و نسبت به بیوپچار تولید شده در دمای بالا تأثیر بیشتری بر بهبود ویژگی‌های حاصلخیزی خاک دارد (۳۳). هرچند مکانیسم‌های متعددی مسئول افزایش یا کاهش نگهداری عناصر غذایی در خاک می‌باشد (۳۲)، اما مطالعات نشان داد که اضافه نمودن بیوپچار به خاک با تأثیر بر ظرفیت تبادل یونی و فعالیت‌های میکروبی بر قابلیت استفاده یون‌های غذایی مؤثر است (۳). تشکیل گروه‌های عامل و محل‌های جذب در سطح بیوپچار نیز ظرفیت خاک را در ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی و جذب آنها افزایش می‌دهد (۳۸). با

می‌شود تغییرات این عنصر غذایی نیز در اثر تبدیل آن به بیوچار مورد بررسی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. حلاج نیا، ا. غ. حق نیا، ا. فتوت و ر. خراسانی. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰(۴): ۱۳۲-۱۲۱.
2. Abe, I., S. Iwasaki, Y. Iwata, H. Kominami and Y. Kera. 1998. Relationship between production method and adsorption property of charcoal. TANSO 185: 277-284.
3. Atkinson, C. J., J. D. Fitzgerald and N. A. Higgs. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant Soil 337: 1-18.
4. Bird, M. I., P. L. Ascough, I. M. Young, C. V. Wood and A. C. Scott. 2008. X-ray microtomographic imaging of charcoal. J. Archaeol. Sci. 35: 2698-2706.
5. Bradl, H. B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. J. Colloid Interface Sci. 277: 1-18.
6. Cheng, C. H., J. Lehmann, J. E. Thies and S. D. Burton. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. J. Geophys. Res. 113: 1027-1033.
7. DeLuca, T. H., M. D. MacKenzie and M. J. Gundale. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. PP. 251-270. In: Lehmann, S. and Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London.
8. Fellet, G., L. Marchiol, G. D. Vedove and A. Peressotti. 2011. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere 83: 1262-1267.
9. Fuertes, A. B., M. C. Arbestain, M. Sevilla, J. A. Macic-Agull, S. Fiol, R. Lepz, R. J. Smernic, W. P. Aitkenhead, F. Arce and F. Macias. 2010. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonization of corn stover. Aust. J. Soil Res. 48: 618-626.
10. Gaskin, J. W., C. Steiner, K. Harris, K. C. Das and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE 51: 2061-2069.
11. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-410. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI.
12. Hansen, J. C. and D. G. Strawn. 2003. Kinetics of phosphorus release from manure-amended alkaline soil. J. Soil Sci. 168: 869-879.
13. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 7th Edition. Pearson Education Inc., Upper Saddle River. New Jersey, USA.
14. Jiang, T. Y., J. Jiang, R. K. Xu and Z. Li. 2012. Adsorption of Pb(II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar. Chemosphere 89: 249-256.
15. Joseph, S., M. Camps-Arbestain, Y. Lin, P. Munroe, C. H. Chia, J. Hook, L. Van Zwieten, S. Kimber, A. Cowie, B. P. Singh, J. Lehmann, N. Foidl, R. J. Smernik and J. E. Amonette. 2010. An investigation into reactions of biochar in soil. Aust. J. Soil Res. 48: 501-515.
16. Keiluweit, M., P. S. Nico, M. G. Johnson and M. Kleber. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). Environ. Sci. Technol. 44: 1247-1253.
17. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-246. In: Page, A. L. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
18. Kookana R. S., A. K. Sarmah, L. Van Zwieten, E. Krull and B. Singh. 2011. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. Adv. Agron. 112: 103-143.
19. Krull, E. S., J. A. Baldock, J. O. Skjemstad and R. S. Smernik. 2009. Characteristics of biochar: Organo-chemical properties. PP. 53-65. In: Lehman, J. and Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London.
20. Lindsay, W. I. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-448
21. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. In: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, Madison, WI.
22. Mustafa, K. H., V. Strezov, K. Y. Chan and P. F. Nelson. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). Chemosphere 78:1167-1171.

23. Namgay, T., B. Singh and B. P. Singh. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays*). Aust. J. Soil Res. 48: 638-647.
24. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 961-1010. In: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, Madison, WI.
25. Olsen, S. R. and L. E. Sommer. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. In: Page et al. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
26. Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson. 2001. Sustainable management of soil organic matter. British Society of Soil Science, CAB pub.
27. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. In: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, Madison, WI.
28. Schmidt, M. W. I. and A. G. Noack. 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges. Glob. Biogeochem. Cycle 14: 777-793.
29. Singh, B. B. and P. Jones. 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristics of soil as affected by organic residues. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 389-394.
30. Singh, B., B. P. Singh and A. L. Cowie. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Aust. J. Soil Res. 48: 516-525.
31. Sohi, S. P., E. Krull, E. Lopez-Capel and R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. Adv. Agron. 105: 47-82.
32. Sposito, G. 1984. The surface chemistry of soils. Oxford Univ. Press, New York. USA.
33. Steinbeiss, S., G. Gleixner and M. Antonietti. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. Soil Biol. Biochem. 41: 1301-1310.
34. Steiner, C., K. C. Das, M. Garcia, B. Forster and W. Zech. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferraloso. Pedobiologia 51: 359-366.
35. Steiner, C., W. G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J. L. V. MaceDo, W. E. H. Blum and W. Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant Soil 291: 275-290.
36. Summer, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201-1230. In: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, Madison, WI.
37. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. In: Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. American Society of Agronomy, Madison, WI.
38. Uchimiya, M., K. T. Klasson, L. H. Wartelle and I. M. Lima. 2011. Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. Chemosphere 82: 1431-1437
39. Vaccari, F. P., S. Baronti, E. Leugato, L. Genesio, S. Castaldi, F. Fornasier and F. Miglietta. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Europ. J. Agron. 34: 231-238.
40. Van Herwijnen R., T. Hutchings, A. Al-Tabbaa, A. Moffat, M. Johns and S. Ouki. 2007. Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. Environmental Pollution 150: 347-354.
41. Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. N. Z. Sci. Rev. 64: 5-10.
42. Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China Agric. Ecosyst. Environ. 139: 469-475.

Effect of Poultry Manure Derived Biochars at Different Temperatures on Chemical Properties of a Calcareous Soil

M. Zolfi Bavariani^{1,2*}, A. Ronaghi¹, N. Karimian¹, R. Ghasemi¹ and J. Yasrebi¹

(Received: Jan. 2-2015 ; Accepted Dec. 13-2015)

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of poultry manure (PM) and its derived biochars on chemical properties of a sample calcareous soil. Poultry manure and its derived biochars at 200(B₂₀₀), 300(B₃₀₀) and 400(B₄₀₀)°C were incorporated with 400 g of soil at 2% level (w/w) and incubated for 150 days. Some chemical properties of soil and bio-availability of some nutritional ingredients such as phosphorous, potassium, iron, manganese, zinc and copper were determined at different times of incubation. Soil nutrients availability, organic carbon (OC), electrical conductivity (EC) and cation exchange capacity (CEC) increased by addition of all these organic substances. Biochars prepared at higher temperatures were more effective in increasing soil OC and its durability. Addition of PM and B₂₀₀ decreased soil pH, whereas B₄₀₀ increased it. Although highest soil EC was observed in B₃₀₀ and B₄₀₀ treated samples in the early stages of incubation, the rate of increasing in soil EC was higher at PM and B₂₀₀ treated samples. In general, it was concluded that biochar prepared at 300°C had the highest effect on availability of nutrients and their durability in the soil.

Keywords: Poultry Manure, Biochar, Calcareous Soil.

1. Dept. of Soil Sci. College of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

2. Dept. of Soil and Water Res., Bushehr Agric. and Natu. Resources Res. and Edu. Center, AREEO, Bushehr, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mzolfi2001@yahoo.com