اثر بیوچار حاصل از کود مرغی بر زیست فراهمی عناصر غذایی در یک خاک آهکی

مختار زلفی باوریانی [۱]، عبدالمجید رونقی [۲]، رضا قاسمی [۲]، جعفر یثربی [۲]
۱- دانشجوی دکتری علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ۲- استاد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

چکیده
این آزمایش به منظور بررسی اثرهای کود مرغی و بیوچار حاصل از آن در دماهای متفاوت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بر زیست فراهمی عناصر غذایی در یک خاک آهکی اجرا شد. تمامی منابع ماده آلی بطور جداگانه به میزان ۲% وزنی با ۴۰۰ گرم خاک مخلوط و به مدت ۱۵۰ روز خوابانده شد. قابلیت استفاده عناصر غذایی در زمان‌های مختلف خواباندن اندازه‌گیری شد. کاربرد تمامی منابع ماده آلی سبب افزایش معنیدار فراهمی عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس در خاک شد. بیوچار تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس بیشترین تأثیر را در بهبود قابلیت استفاده عناصر غذایی و ماندگاری آن در خاک داشت.

واژه های کلیدی: کود مرغی، بیوچار، خاک آهکی، عناصر غذایی.

مقدمه
آتشکافت یک فرآیند تجزیه حرارتی در شرایط عدم وجود اکسیژن آزاد است که در نتیجه آن از زیست توده اولیه سه محصول گاز، مایع و مواد جامد (بیوچار) تولید می‌شود (Ro et al., ۲۰۱۰). با توجه به مقاومت بیوچار به تجزیه بیولوژیکی هدف اولیه از تولید آن حفظ و نگهداری کربن در خاک و در نتیجه کاهش غلظت گازهای گلخانهای در اتمسفر می‌باشد. علاوه بر این بیوچار به عنوان یک ماده افزودنی، ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vaccari et al., ۲۰۱۱). ویژگی‌های بیوچار تولیدی تحت تأثیر منبع زیست توده اولیه و شرایط آتشکافت به ویژه میزان و مدت اعمال حرارت است. بیوچار تولیدی از بقایای گیاهی در مقایسه با کودهای دامی معمولاً حاوی مقدار کمتری از عناصر غذایی است (Sheth and Bagchi, ۲۰۰۵). گزارش‌های زیادی در خصوص تأثیر بیوچار تهیه شده از منابع مختلف زیست توده تحت شرایط متفاوت تولید بر جنبه‌های حاصلخیزی خاک وجود دارد (Vaccari et al., ۲۰۱۱). تحقیقات انجام شده بر روی بیوچار عمدتاً در خاک‌های اسیدی بوده و در خاک‌های آهکی گزارشهای چندانی موجود نیست. از مهم‌ترین ویژگی خاک‌های آهکی پایین بودن قابلیت استفاده برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن، روی، منگنز و مس است که عمدتا به دلیل پ‌هاش نسبتاً بالای این خاک‌ها می‌باشد (Havlin et al., ۲۰۰۵).
مواد آلی وضعیت عناصر غذایی در خاک را به دلیل جذب سطحی و واکنش‌های کمپلکسی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bradl ۲۰۰۴). میزان این مواد در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر مناطق جنوبی ایران پایین بوده و برای بهره‌گیری از فوائد آن مقادیر هنگفتی از منابع مختلف مواد آلی مانند کودهای گاوی، 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 زیست محیطی و بهداشتی افزایش هزینه تولید را نیز در پی دارد. اثر بیشتر کود مرغی بر قابلیت استفاده عناصر غذایی نسبت به سایر کودهای دامی (Havlin et al., ۲۰۰۵) از یک‌سو و تفاوت در ویژگی‌های بیوچار تهیه شده از آن در شرایط متفاوت از سوی دیگر لزوم بررسی اثر بیوچار حاصل از کود مرغی تحت دماهای متفاوت بر قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک و به خصوص ماندگاری اثر آن را ضروری نموده که هدف اصلی آزمایش حاضر است.

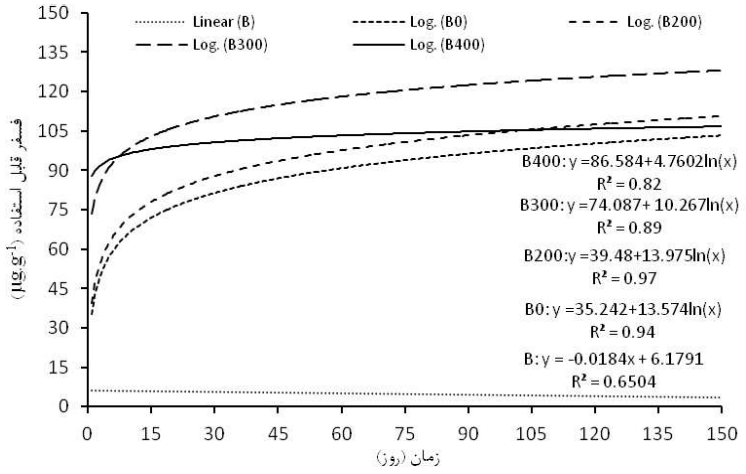
مواد و روشها
برای اجرای این آزمایش، خاک کافی از افق سطحی (۲۰-۰ سانتیمتری) جمع‌آوری شد. خاک هوا خشک شده پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های آن تعیین شد. بیوچار به طور جداگانه در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس با استفاده از کوره الکتریکی (Heraeus مدل K-۱۲۵۲) تهیه شد. کود مرغی و سه نوع بیوچار تهیه شده از آن به طور جداگانه به میزان دو درصد وزنی با نمونه‌های ۴۰۰ گرمی خاک آهکی به طور کامل مخلوط شد.
آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد نظر شامل منابع ماده آلی در پنج سطح (بدون ماده آلی(B)، کود مرغی(B.) و بیوچارهای تهیه شده از آن در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب $B_{۳۰۰}$ ، $B_{۲۰۰}$ و $B_{۴۰۰}$) و زمان نمونه‌برداری در چهار سطح (یک، ۱۵، ۴۵ و ۱۵۰ روز پس از شروع خواباندن) بود. تیمارهای مذکور به مدت ۵ ماه در شرایط حدود رطوبت مزرعه و دمای ۲۵ درجه سلسیوس خوابانده شد. از تمامی تیمارها در زمان‌های مذکور نمونه‌برداری و زیست فراهمی عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس در آنها تعیین شد. تجزیه آماری داده‌ها و روابط رگرسیونی مربوطه با نرم افزارهای SPSS و SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

پ‌هاش 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. افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و نیز غلظت فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در بیوچارهای تولیدی نسبت به زیست توده اولیه و نیز تشدید این روند با افزایش دمای آتشکافت از مهم‌ترین مشخصه‌های بیوچارهای حاصل از کود مرغی بود.

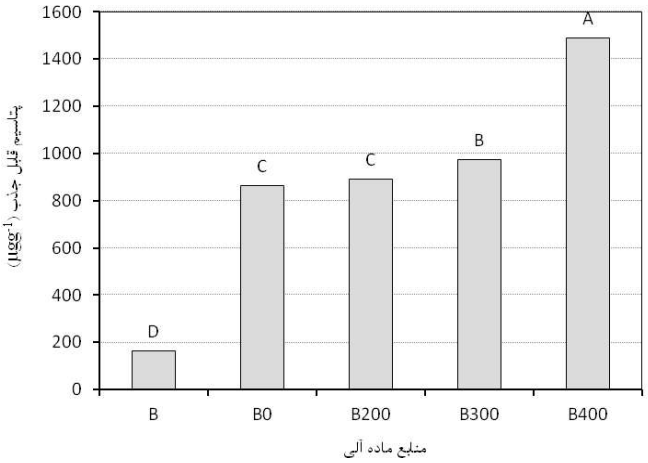
در تمامی مراحل نمونه‌برداری کاربرد کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن سبب افزایش معنی‌دار قابلیت استفاده فسفر در خاک نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱). در زمان یک روز پس از شروع خواباندن، بیوچارهای تهیه شده در دمای بالاتر به دلیل غنی‌تر بودن تأثیر بیشتری بر افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک داشت (شکل ۱). میزان تأثیر مواد آلی در افزایش فراهمی فسفر در خاک به مقدار فسفر آنها بستگی دارد (Singh and Jones ۱۹۷۶).

در تمامی منابع ماده آلی با گذشت زمان خواباندن قابلیت استفاده فسفر در خاک به صورت لگاریتمی افزایش یافت(شکل ۱). 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 بیوچار ۲۰۰ شدیدتر از بیوچار ۳۰۰ و در بیوچار ۴۰۰ بسیار جزئی بود. بر اساس 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 (Hansen and Strawn ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد سرعت تجزیه بیشتر بیوچار تهیه شده در دمای پایین مشابه زیستتوده اولیه سرعت آزادسازی بیشتر فسفر در محلول خاک را در پی داشته است. در مراحل اولیه تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها ترکیبات آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک افزایش می‌یابد (Rees et al., ۲۰۰۱). این ترکیبات با مکانیسم‌های متفاوت می‌توانند در افزایش فراهمی فسفر در خاک مؤثر باشند (Havlin et al., ۲۰۰۵). 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 (حلاج نیا و همکاران ۱۳۸۵). از سوی دیگر با افزایش مقاومت به تجزیه در اثر تبدیل کود مرغی به بیوچار و نیز بیشتر شدن این مقاومت با افزایش دمای آتشکافت (Steiner et al., ۲۰۰۸) انتظار می‌رود در مراحل اولیه خواباندن سرعت رها سازی فسفر در اثر تجزیه بیوچار کمتر از زیست توده اولیه باشد و با افزایش دمای آتشکافت کاهش بیشتری را شاهد باشیم. ماندگاری طولانی مدت اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک به دلیل مقاومت بیشتر آن به تجزیه می‌باشد (Fellet et al., ۲۰۱۱).



شکل ۱ رابطه فسفر قابل استفاده در خاک با زمان انکوباسیون در تیمارهای مختلف

هرچند کاربرد کود مرغی سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم در خاک شد اما کاربرد بیوچار تهیه شده از آن در دمای بالاتر با افزایش بیش از پیش قابلیت استفاده این عنصر غذایی در خاک همراه بود (شکل ۲). با توجه به افزایش غلظت پتاسیم در ساختار بیوچار با افزایش دمای آتشکافت این نتایج دور از انتظار نمی‌باشد. تصعید عناصر مختلف از ساختار زیست‌توده در اثر تبدیل آن به بیوچار تحت تأثیر دمای تصعید این عناصر می‌باشد (Krull et al., ۲۰۰۹). فسفر و پتاسیم در دامنه ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سلسیوس تصعید می‌شوند (DeLuca et al., ۲۰۰۹). 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، بیوچار حاصله از عناصری مانند فسفر و پتاسیم غنی‌تر شود.



شکل ۲- قابلیت استفاده پتاسیم در منابع مختلف ماده آلی

همچنین افزایش حلالیت فسفر، پتاسیم و عناصر غذایی کم مصرف موجود در ساختار زیست توده در اثر افزایش حرارت در افزایش قابلیت استفاده این عناصر در خاک مؤثر است (Steiner et al., ۲۰۰۷). ضمن اینکه افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در اثر افزودن بیوچار به خاک نیز گزارش شده است (Steiner et al., ۲۰۰۸). این عوامل می‌تواند در افزایش فراهمی عناصر مذکور مؤثر باشد. غلظت پتاسیم و فسفر در اثر تبدیل کود مرغی به بیوچار در شرایط متفاوت تولید به میزان ۸/۲ تا ۷ برابر افزایش یافته و می‌تواند به عنوان منبع عناصر غذایی در کشاورزی مورد استفاده گیرد (Knudsen et al., ۱۹۸۲).

یک روز پس از خواباندن، کاربرد کود مرغی و بیوچارهای تهیه شده در دمای ۲۰۰ و ۳۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش معنی‌دار قابلیت استفاده آهن در خاک 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 ۱).

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. 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 به خصوص بیوچار ۴۰۰ کمتر از دو نوع دیگر ماده آلی بود(جدول ۱). 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. 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 بیوچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ وجود نداشت(جدول ۱). با گذشت زمان خوابانیدن قابلیت استفاده مس در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کاهش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های ۱۵، ۴۵ و ۱۵۰ روز در تمامی این تیمارها وجود نداشت. قابلیت استفاده مس در خاک تیمار شده با بیوچار 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(Van Herwijnen et al., ۲۰۰۷). سرعت زیاد تجزیه کود مرغی و بیوچار تهیه شده از آن در دمای پایین(Steiner et al., ۲۰۰۷) رها سازی سریع‌تر عناصر موجود در ساختار آنها را سبب شده است. احتمالاً آهکی بودن خاک و پ‌هاش نسبتاً بالای آن کاهش سریع قابلیت استفاده عناصر آزاد شده را سبب شده است. برخی منابع افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی کم مصرف را در اثر کاربرد بیوچار در خاک(Namgay et al., ۲۰۱۰، Fellet et al., ۲۰۱۱) و برخی کاهش آن را (Kookana et al.,۲۰۱۱) گزارش کرده‌اند. تأثیر بیوچار بر قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک به دمای تولید آن بستگی دارد. اثرات متقابل (Joseph et al., ۲۰۱۰)خاک با بیوچارهای تولیدی در حرارت کم بیشتر از بیوچارهای تولیدی در حرارت بالا می‌باشد این نوع بیوچار در خاک فعال‌تر بوده و نسبت به بیوچار تولید شده در دمای بالا تأثیر بیشتری بر بهبود ویژگی‌های تشکیل گروه‌های عامل و محل‌های جذب در سطح بیوچار نیز ظرفیت خاک را در ایجاد(Steinbeiss et al., ۲۰۰۹)حاصلخیزی خاک دارد با توجه به ساختار سخت بیوچار در خاک و (Uchimiya et al., ۲۰۱۱).کمپلکس با یون‌های فلزی و جذب آنها افزایش می‌دهد انتظار می‌رود کمپلکس‌های ایجاد شده یونهای فلزی (Steiner et al., ۲۰۰۷)افزایش مقاومت آن به تجزیه با افزایش دمای آتشکافت ماندگاری طولانی مدت اثر بیوچار بر قابلیت استفاده.(Namgay et al., ۲۰۱۰)با بیوچار پایدارتر از سایر منابع ماده آلی باشد هرچند تبدیل کود .(Fellet et al., ۲۰۱۱)عناصر غذایی و ویژگی‌های خاک به دلیل مقاومت بیشتر آن به تجزیه گزارش شده است

مرغی به بیوچار و نیز افزایش دمای آتشکافت غنی‌تر شدن آن را در پی داشت، اما افزایش پ‌هاش بیوچار با افزایش دمای آتشکافت به ۴۰۰ درجه سلسیوس، در کاهش قابلیت استفاده این عناصر در خاک مؤثر بوده است.

جدول ۱ - تأثیر کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن بر قابلیت استفاده برخی عناصر غذایی در خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

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

***: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف کوچک مشترک هستند از نظر ازمون دانکن در سطح ۵% تفاوت معنی‌داری ندارند.**

منابع

حلاج نیا، ا.، غ. حق نیا، ا. فتوت و ر. خراسانی. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک های آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی. سال دهم. شماره چهارم(الف). ص: ۱۲۱ - ۱۳۲.

Bradl, H.B. ۲۰۰۴. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. Journal of Colloid and Interface Science ۲۷۷, ۱-۱۸.doi:۱۰.۱۰۱۶/j.jcis.۲۰۰۴.۰۴.۰۰۵

DeLuca, T. H., M. D. MacKenzie, and M. J. Gundale. ۲۰۰۹. Biochar effects on soil nutrient transformations. In "Biochar for Environmental Management:Science and Technology" (J.Lehmann and S.Joseph, Eds.),Earth, London.

Fellet, G., L. Marchiol, G. D. Vedove, A. Peressotti. ۲۰۱۱. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere ۸۳: ۱۲۶۲-۱۲۶۷.

Hansen,J.C. and D.G.Strawn. ۲۰۰۳.Kinetics of phosphorus release from manure-amended alkaline soil. J.SSci. ۱۶۸:۸۶۹-۸۷۹.

Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisadale, and W. L. Nelson. ۲۰۰۵. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. ۷th Ed. Pearson Education Inc., Upper Saddle River. New Jersey, USA. ۵۱۵ p.

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. ۲۰۱۰. An investigation into reactions of biochar in soil. Aust. J. Soil Res. ۴۸: ۵۰۱-۵۱۵.

Knudsen, D., G.A. Peterson, and P.F. Pratt. ۱۹۸۲. Lithium, sodium and potassium. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.۲۲۵-۲۴۶. Part ۲, ۲nd ed., Agron. Monogr. No.۹. *In*: A. L. Page(Eds.), ASA and SSSA, Madison, WI.

Kookana R.S., A.K. Sarmah, L. Van Zwieten, E. Krull, and B. Singh. ۲۰۱۱. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. Advances in Agronomy, Volume ۱۱۲: ۱۰۳-۱۴۳.

Krull, E. S., J. A. Baldock, J. O. Skjemstad, and R. S. Smernik. ۲۰۰۹. Characteristics of biochar: Organo-chemical properties. In "Biochar for Environmental Management: Science and Technology" (J. Lehmann and S. Joseph, Eds.), Earthscan, London.

Namgay, T., B. Singh, and B. P. Singh. ۲۰۱۰. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (Zea mays L). Aust. J. Soil Res. ۴۸: ۶۳۸-۶۴۷.

Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson. ۲۰۰۱. Sustainable management of soil organic matter. British Society of Soil Science. CAB pub.

Ro, K.S., Cantrell, K.B., Hunt, P.G., ۲۰۱۰. High-temperature pyrolysis of blended animal manures for producing renewable energy and value-added biochar. Ind. Eng. Chem. Res. ۴۹, ۱۰۱۲۵-۱۰۱۳۱.

Shetch, A.C., Bagchi, B., ۲۰۰۵. Investigation of nitrogen-bearing species in catalytic steam gasification of poultry litter. J. Air Waste Manage. Assoc. ۵۵, ۶۱۹-۶۲۸.

Singh, B. B. and P. Jones. ۱۹۷۶. Phosphorus sorption and dessorption characteristics of soil as affected by organicresidues. Soil Sci. Soc. Amer. J. ۴۰:۳۸۹-۳۹۴

Steinbeiss, S., G. Gleixner, and M. Antonietti. ۲۰۰۹. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. Soil Biol. Biochem. ۴۱: ۱۳۰۱-۱۳۱۰.

Steiner, C., K. C. Das, M. Garcia, B. Forster, and W. Zech. ۲۰۰۸. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralso. Pedobiologia ۵۱: ۳۵۹-۳۶۶.

Steiner, C., W. G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J. L. V. MaceDo, W. E. H. Blum, and W. Zech. ۲۰۰۷. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant Soil: ۲۹۱, ۲۷۵-۲۹۰.

Uchimiya,M.,K.T.Klasson, L.H.Wartelle,and I.M.Lima.۲۰۱۱.Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment:۱.Copper sorption isotherms and the release of cations.Chemosphere۸۲,۱۴۳۱-۱۴۳۷

Vaccari, F. P., S. Baronti, E. Leugato, L. Genesio, S. Castaldi, F. Fornasier, and F. Miglietta. ۲۰۱۱. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Europ. J. Agron. ۳۴: ۲۳۱-۲۳۸.

Van Herwijnen R., T. Hutchings, A. Al-Tabbaa, A. Moffat, M. Johns, and S. Ouki. ۲۰۰۷. Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environmental Pollution* ۱۵۰, ۳۴۷-۳۵۴.

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of poultry manure (PM) and its derived biochars at different temperatures (۲۰۰, ۳۰۰ and ۴۰۰ C) on nutrients availability in a calcareous soil. All organic substances were incorporated with ۴۰۰ g of soil at ۲% level (w/w), separately and incubated for ۱۵۰ days. Soil nutrients availability determined at different stages of incubation time period. Application of all organic substances caused a significant increase in the availability of phosphorus, potassium, iron, zinc, manganese and copper in the soil. Biochar which produced at ۳۰۰ C had the greatest impact on improving of nutrients availability and its durability in