نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۵۶۹-۵۵۷

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 557-569

اثر بیوچار تفاله پسته تولید شده در دو دمای مختلف و سطوح مختلف نیتروژن و فسفر بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و رشد اسفناج

حامد رجبی[۱]- صدیقه صفرزاده[۲*]- عبدالمجید رونقی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۶

چکیده

نیتروژن، فسفر و پتاسیم از جمله عناصر غذایی ضروری پر مصرف هستند که وظایف مهمی در گیاه بر عهده دارند. به منظور بررسی اثر بیوچار تفاله پسته و کود شیمیایی بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه اسفناج (رقم *viroflay*)، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل (۳×۳×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه سطح بیوچار تهیه شده از تفاله پسته (صفر، ۳ و ۶ درصد وزنی) تولید شده در دو دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس و سه سطح نیتروژن و فسفر [صفر، (نیتروژن ۸۰ و فسفر ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و (نیتروژن ۱۵۰ و فسفر ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)] بود. نتایج نشان داد که بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس اثر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه اسفناج نداشت. کاربرد هر دو سطح نیتروژن و فسفر سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزن خشک گیاه اسفناج در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس غلظت نیتروژن، فسفر، و پتاسیم اندام‌های هوایی اسفناج را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد، اما بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس تنها سبب افزایش معنی دار غلظت فسفر و پتاسیم شد. اضافه کردن هر دو سطح نیتروژن و فسفر سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن و فسفر و کاهش معنی دار غلظت پتاسیم اندام‌های هوایی نسبت به شاهد شد. دمای تولید بیوچار اثر معنی داری بر وزن خشک و غلظت نیتروژن اندام هوایی اسفناج نداشت اما کاربرد بیوچار تولیدی در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی دار غلظت فسفر و افزایش معنی دار غلظت پتاسیم اندام هوایی نسبت به بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس شد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب شیمیایی، کود، عملکرد اسفناج

مقدمه

اسفناج (*Spinaciaoleracea, L.*)یکی ازسبزی‌های فصل سرد است که ارزش غذایی زیادی داشته و به دلیل نقش تغذیه‌ای آن برای انسان، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آن اهمیت فراوانی دارد (۱۷). یکی از راههای تأمین عناصر غذایی برای گیاه مصرف کود شیمیایی است که سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک به نظر می‌رسد. هر چند استفاده از کودهای شیمیایی از عوامل اصلی حاصلخیزی خاک به شمار می‌روند، ولی استفاده بی‌رویه از آن علاوه بر اتلاف سرمایه و خسارت مالی، موجب آلودگی خاک و آب، بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک، کاهش بازده محصولات کشاورزی، و به طور کلی به خطر افتادن حیات سلامت انسان‌ها و سایر موجودات زنده شده است (۱۶). امروزه استفاده از کودهای سبز و همچنین بهره‌گیری از بقایای مواد آلی در خاک به عنوان بخشی از برنامه های کشاورزی پایدار جایگزین کودهای شیمیایی شده است، بدین صورت می‌توان بدون افزایش کودهای شیمیایی یا با کاربرد مقادیر کمتر آن، حاصلخیزی خاک را افزایش داد (۲۱).

در سال‌های اخیر متخصصان محیط زیست از تبدیل زیست‌توده گیاهی و ضایعات کشاورزی به بیوچار (زغال زیستی) به منظور حفظ و نگهداری کربن در خاک، اصلاح و بهبود ویژگی های خاک استفاده می کنند (۱۳ و ۲۵). بیوچار، ماده تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که طی فرآیند آتشکافت (پیرولوسیس) تولید می‌شود، این فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط عدم وجود یا غلظت بسیار کم می باشد (۲۵). بیوچار علاوه بر حفظ و نگهداری کربن در خاک و جلوگیری از گرم شدن کره زمین، به عنوان

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: (Email: safarzadeh@shirazu.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v31i2.54206

Archive of SID
www.SID.ir

یک ماده افزودنی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و در نهایت بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی مؤثر گزارش شده است (۲۰ و ۴۲).

گزارشات متعددی در مورد اثر بیوچار بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف وجود دارد (۲، ۲۰، و ۲۷). در برخی از مطالعات اثر بیوچار بر افزایش عملکرد گیاهان گزارش نشد (۲) و در برخی از تحقیقات اثر منفی بیوچار (۲۲) و در برخی از تحقیقات اثر مثبت آن (۴۲) بر عملکرد گیاه و حاصلخیزی خاک گزارش شده است. اثر بیوچار بر عملکرد گیاه به مقدار مصرف بیوچار (۲۶)، ویژگی‌های خاک (۲)، منبع زیست‌توده اولیه و ویژگی های آن (فیزیکی و شیمیایی) و شرایط تولید بیوچار و دمای لازم برای فرآیند آتشکافت (۱۰ و ۲۰) بستگی دارد. ترکیب و قابلیت استفاده عناصر غذایی با توجه به منبع ماده آلی مورد استفاده برای تهیه بیوچار و شرایط آتشکافت متغیر است (۱۹).

کارتر و همکاران (۵) در آزمایشی گلخانه ای اثر مقادیر ۲۵، ۵۰، و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار را بر رشد کاهو و کلم بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد که کاربرد بیوچار سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد برگ ها در مقایسه با شاهد شده است. چان و همکاران (۶) در آزمایشی گلخانه ای اثر کاربرد مقادیر مختلف (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) بیوچار بر گیاه تربچه در یک خاک اسیدی با محتوای پایین کربن آلی در حضور و عدم حضور منبع نیتروژنی (نیترات آمونیوم) را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که در عدم حضور کود نیتروژنی، کاربرد بیوچار اثری بر افزایش عملکرد گیاه نداشت. اما با افزایش میزان بیوچار از ۱۰ تا ۱۰۰ تن در هکتار و در حضور ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، عملکرد گیاه افزایش معنی‌دار یافت. بطور کلی نتایج مطالعات مختلف نشان از آن دارد که کاربرد بیوچار سبب افزایش و بهبود کارایی کودهای نیتروژنی در خاک‌های مختلف و در نهایت جذب بیشتر نیتروژن برای گیاه می شود (۱۰).

در سالهای اخیر استفاده از بیوچار حاصل از کودها و ضایعات کشاورزی جهت بهبود ویژگی های فیزیکی و حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان مورد توجه محققین در ایران قرار گرفته اما با توجه به بررسی های انجام شده تاکنون در مورد اثر بیوچار حاصل از تفاله پسته در خاک آهکی تحقیقی انجام نشده است. بنابراین باتوجه به تولید زیاد تفاله پسته در ایران و عدم استفاده بهینه از آن در مزرعه، و با توجه به نقش دمای تولید بیوچار بر ویژگی های بیوچار، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بیوچار حاصل از تفاله پسته تولید شده در دو دمای مختلف به همراه نیتروژن و فسفر بر غلظت عناصر غذایی و رشد گیاه اسفناج انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سطوح بیوچار تولید شده در دو دمای مختلف و کود شیمیایی بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه اسفناج، آزمایشی به صورت فاکتوریل (۳×۳×۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در آذر ماه سال ۱۳۹۲ طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل ۳ سطح بیوچار (صفر، ۳، ۶ درصد وزنی بیوچار تفاله پسته) و سه سطح مختلف نیتروژن و فسفر به صورت نیتروژن و فسفر صفر (شاهد)، نیتروژن ۸۰ و فسفر ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک، و نیتروژن ۱۵۰ و فسفر ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک (به ترتیب از منبع اوره و مونو کلسیم فسفات) ، و دو دمای مختلف جهت تولید بیوچار (۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بود. مقدار مورد نیاز خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک آهکی سری دانشکده (Fine, mixed, mesic, Typic Calcixerepts) واقع در منطقه باجگاه فارس جمع آوری شدند. نمونه‌ها پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت تجزیه شیمیایی آماده شدند. برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند pH در خمیر اشباع به روش توماس (۴۱)، بافت به روش هیدرومتری (۱۵)، ماده آلی به روش اکسیداسیون با اسید کرومیک و سپس تیتره کردن با فروس آمونیوم سولفات (۳۳). قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی (۳۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۴)، نیتروژن کل به روش کلدال (۴)، فسفر قابل استفاده به روش واتاناب و اولسن (۴۳) و غلظت عناصر کم مصرف کاتیونی (منگنز، مس، روی، و آهن) به روش عصاره گیری با دی تی پی اِ (۲۸) و قرائت با دستگاه جذب اتمی، Shimadzu, AA-670 و پتاسیم بوسیله عصاره گیری با استات آمونیوم (۲۳) و قرائت بوسیله دستگاه شعله سنج تعیین شدند (جدول ۱). برای تهیه بیوچار، از تفاله‌های پسته استفاده شد. تفاله‌های پسته پس از جمع آوری، هوا خشک شده، و سپس در ورقه آلومینیومی بسته بندی شدند تا فرآیند اکسیژن رسانی به تفاله‌ها محدود شود. سپس به مدت چهار ساعت در دو دمای متفاوت (۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) در داخل کوره قرار داده شدند تا فرآیند آتشکافت (پیرولوسیس) (فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط عدم وجود یا غلظت بسیار کم اکسیژن (۲۵)) انجام شود و زغالی که به آن بیوچار می‌گویند تولید شود (۲۴). سپس بیوچار آسیاب شده و برخی از ویژگی‌های شیمیایی مانند پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی مطابق با روش‌هایی که برای خاک آمده است اندازه‌گیری شدند. غلظت فسفر به روش آمونیوم مولیبدات وانادات (۷)، پتاسیم بوسیله دستگاه شعله سنج، هیدروژن، کربن و نیتروژن بوسیله دستگاه HCN آنالایزر اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). در ابتدا بر اساس نتایج آزمون خاک (به منظور جلوگیری از کمبود احتمالی برخی عناصر غذایی) عناصر آهن، منگنز، روی، و مس به ترتیب از منابع کلاتی و

Archive of SID

www.SID.ir

سولفاتی به ترتیب به مقدار ۱۰، ۵، ۵، و ۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک اضافه شد. عناصر نیتروژن (از منبع اوره) و فسفر (از منبع مونو کلسیم فسفات) طبق سطوح پیشنهادی برای تیمارها به گلدان‌ها افزوده شدند. مقدار نیتروژن مورد نیاز به دو قسمت تقسیم، نیمی از نیتروژن در ابتدای دوره خوابانیدن همراه سایر تیمارها و مابقی در اواسط فصل رشد (۴ هفته پس از کاشت) به گلدان‌ها افزوده شد. سپس نمونه‌های خاک دو کیلوگرمی به همراه تیمارهای ذکر شده به مدت ۳۰ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خوابانیده و در طول مدت خوابانیدن رطوبت خاک‌ها در حد رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. سپس خاک درون کیسه‌ها مخلوط شده و به داخل گلدان ها منتقل و در هر گلدان ۱۰ عدد بذر اسفناج (رقم viroflay) کاشته شده و پس از حدود یک هفته به ۵ عدد تنک شدند. حدود ۸ هفته بعد گیاهان از محل طوقه قطع و پس از شستشو با آب مقطر، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک شده، به وسیله آسیاب پودر و به منظور انجام تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. عصاره گیری نمونه های گیاهی و اندازه گیری عناصر نیتروژن، فسفر، و پتاسیم در آنها ، مطابق با روشی که برای بیوچار توضیح داده شد، انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Selected physical and chemical properties of soil

ویژگی (واحد)	مقدار	ویژگی (واحد)	مقدار
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	0.14	شن (٪) Sand (%)	4
فسفر قابل استفاده Available phosphorus(mg kg^{-1})	10	رس (٪) Clay (%)	42
پتاسیم Potassium (mg kg^{-1})	350	بافت خاک Soil texture	رسی- سیلتی Silty clay
آهن قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌اِ DTPA extractable Fe	5.6	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$) Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)	0.74
منگنز قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌اِ DTPA extractable Mn	12.5	ماده آلی (%) Organic matter (%)	1.26
مس قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌اِ DTPA extractable Cu	1.4	پهاش pH	7.82
روی قابل عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌اِ DTPA extractable Zn	1.1	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol^{+}\ kg^{-1}$) Cation exchange capacity ($cmol^{+}\ kg^{-1}$)	13

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچار تفاله پسته

Table 2. Selected chemical properties of pistachio biochar

ویژگی (واحد)	مقدار	
	بیوچار 200 °C Biochar 200 °C	بیوچار 400 °C Biochar 400 °C
پهاش: ۱:۵ کود به آب pH (1: 5 biochar to water)	4.66	11.7
قابلیت هدایت الکتریکی (۱:۵ کود به آب، $dS\ m^{-1}$) Electrical conductivity (1: 5 biochar to water, $dS\ m^{-1}$)	5.4	7.2
C:N	21.37	26.52
هیدروژن Hydrogen (%)	5.66	3.8
کربن Carbon (%)	51.5	5782
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	2.41	2.18
فسفر کل Total phosphorus (mg kg^{-1})	300	600
پتاسیم کل Total Potassium (%)	5.9	11

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

جهت بررسی بهتر اثر تیمارها بر ویژگی های اندازه گیری شده، آزمایش به دو قسمت تفکیک شد. در آزمایش اول نتایج مربوط به بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس (۲۷ گلدان) و در آزمایش دوم نتایج مربوط به بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس (۲۷ گلدان) آورده شده است.

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌ها و غلظت عناصر پر مصرف گیاه اسفناج

Table 3 - Results of variance analysis of the effect of treatment on some characteristics and Concentrations of macronutrients in spinach plant

			میانگین مربعات Mean square			
	منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	وزن خشک Dry matter	غلظت نیتروژن Nitrogen concentration	غلظت فسفر Phosphorus concentration	غلظت پتاسیم Potassium concentration
آزمایش اول First test	سطوح بیوچار Biochar level	2	0.58^{ns}	1.28^{**}	11.54^{**}	7179.4^{**}
	سطوح کود شیمیایی Fertilizer levels	2	10.89^{**}	9^{**}	18.87^{**}	625.05^{**}
	بیوچار × کود شیمیایی Biochar × fertilizer	4	0.37^{ns}	2.5^{*}	0.07^{ns}	95.92^{*}
	خطا Error	8	0.17	0.14	0.24	29.52
	CV		11.54	10.64	8.93	5.93
آزمایش دوم Second test	سطوح بیوچار Biochar level	2	0.035^{ns}	0.33^{ns}	3.16^{**}	10081.1^{**}
	سطوح کود شیمیایی Fertilizer level	2	9.55^{**}	20.37^{**}	30.23^{**}	188.12^{*}
	بیوچار × کود شیمیایی Biochar × fertilizer	4	0.25^{ns}	0.091^{ns}	0.48^{ns}	11.52^{ns}
	خطا Error	8	0.12	0.26	0.25	40.25
	CV		9.48	14.84	10.1	6.49

^{ns} ، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی داری، و معنی‌داری در سطح $P\leq0.05$ و $P\leq0.01$

ns, *, **, not significant, significant at $P\leq0.05$ and $P\leq0.01$, respectively.

آزمایش اول و دوم به ترتیب بیانگر نتایج مربوط به بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس

First and second experiments, results of biochar prepered at 200 and 400 °c

وزن خشک اندام هوایی اسفناج:

بر اساس نتایج جدول ۳ در هر دو آزمایش، کاربرد بیوچار و بر همکنش سطوح بیوچار و کود شیمیایی اثر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج نداشت. اما کاربرد کود شیمیایی اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میانگین وزن خشک اندام هوایی اسفناج نشان داد.

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سطوح مختلف بیوچار بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج در جدول ۴ نشان داده شده است. در هر دو آزمایش، با افزایش سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی بیوچار وزن خشک اندام هوایی اسفناج نسبت به شاهد افزایش یافت اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود که ممکن است به دلیل کوتاه بودن طول دوره رشد گیاه (هشت هفته) باشد. نتایج ضد و نقیضی در مورد اثر بیوچار بر حاصلخیزی خاک و عملکرد گیاه گزارش شده است (۳). گاسکین و همکاران (۱۴) مشاهده کردند که کاربرد ۲۲ تن در هکتار بیوچار پوسته بادام زمینی همراه با کود شیمیایی و همچنین کاربرد بیوچار کاج به تنهایی سبب کاهش عملکرد ذرت شد.

با کاربرد کود شیمیایی میانگین وزن خشک اندام هوایی اسفناج به طور معنی‌داری افزایش یافت. میانگین وزن خشک اندام هوایی اسفناج در سطوح (۸۰ میلی گرم نیتروژن و ۱۵ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و (۱۵۰میلی گرم نیتروژن و ۳۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) کود شیمیایی در آزمایش اول به ترتیب ۴۴/۶۲ و ۸۷/۶۴ درصد و در آزمایش دوم به ترتیب ۳۷/۱۲ و ۷۸/۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی دار یافت (جدول ۴). به احتمال زیاد کود شیمیایی توانسته با تأمین عناصر غذایی سبب بهبود جذب نیتروژن و فسفر و در نتیجه سرعت رشد و بیوماس گیاه را نسبت به شرایط عدم استفاده از کود افزایش دهد. تاکب و همکاران (۳۹) بیان کردند که افزایش وزن خشک اسفناج در نتیجه کاربرد کود نیتروژن را می‌توان

Archive of SID

www.SID.ir

به ترکیب نیتروژن با مواد حاصل از فتوسنتز مانند گلوکز، ساکارز و آسکوربیک اسید، و تولید اسیدهای آمینه و سپس پروتئین نسبت داد. میانگین وزن خشک اسفناج در دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۳/۶۲ و ۳/۶۵ گرم در گلدان بود که تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴)، بنابراین دمای تولید بیوچار اثر معنی‌داری بر میانگین وزن خشک اندام هوایی اسفناج نداشت.

جدول ٤- اثرکاربرد بیوچار تولید شده در دودمای ۲۰۰ و ٤۰۰ درجه سلسیوس و کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر) بر وزن خشک (گرم در گلدان) اندام هوایی اسفناج

Table 4- Effect of biochar produced in two temperatures (200 and 400 °C) and fertilizers (Nitrogen and phosphorus) on dry matter(gr pot^{-1})

سطوح کود شیمیایی fertilizer levels نیتروژن و فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (Nitrogen and phosphorus) (mg kg^{-1})	آزمایش اول: سطوح بیوچار تولیدی در دمای ۲۰۰ °C (درصد وزنی) First test: biochar level prepared at 200 °C (% W)			
	0	3	6	میانگین Mean
0	2.83^{de}	2.45^{e}	2.26^{e}	2.51C
15 و 80	3.22^{cd}	3.73^{c}	3.93^{bc}	3.63B
30 و 150	4.69^{a}	4.51^{ab}	4.94^{a}	4.71A
میانگین Mean	3.58A	3.65A	3.71A	**3.62A**
	آزمایش دوم: سطوح بیوچار تولیدی در دمای ۴۰۰ °C (درصد وزنی) Second test: biochar levels prepared at 400 °C (% W)			
	0	3	6	
0	2.83^{cd}	2.39^{d}	2.71^{cd}	2.64C
15 و 80	3.22^{bc}	3.81^{b}	3.83^{b}	3.62B
30 و 150	4.69^{a}	4.84^{a}	4.58^{a}	4.71A
میانگین Mean	3.58A	3.67A	3.71A	**3.65A**

*میانگین هایی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشابه بزرگ و میانگین هایی که در متن جدول دارای یک حرف مشابه کوچک هستند، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌دار نمی باشند ($P<0.05$).

*Means in each column or row followed by the same capital letters and means in the body of the table followed by the same lowercase letters are not significantly different ($p\leq 0.05$) by Duncan's Multiple Range Test.

غلظت نیتروژن کل اندام هوایی اسفناج:

بر اساس نتایج جدول ۳ در آزمایش اول کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میانگین غلظت نیتروژن کل اندام هوایی اسفناج داشت. با کاربرد ۳ و ۶ درصد وزنی بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس میانگین غلظت نیتروژن کل در اندام هوایی اسفناج نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۸/۰۷ و ۲۱/۵ درصد افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۶). در آزمایش دوم کاربرد سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش میانگین غلظت نیتروژن کل در اندام هوایی اسفناج شد اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول های ۳ و ۵). با توجه به نتایج گاسکین و همکاران (۱۳) بیوچار می تواند منبع تغذیه مستقیم برای گیاه باشد و بسیاری از عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را برای گیاه فراهم کند و سبب افزایش غلظت این عناصر در گیاه شود. کاربرد بیوچار ممکن است باعث افزایش و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک شود به طور مثال کاربرد بیوچار حاصل از چوب و مواد زائد سبز می تواند نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، کاتیون تبادلی، کلسیم، منیزیم، سدیم، و پتاسیم در خاک را افزایش داده (۳۱) و در نتیجه جذب بسیاری از عناصر غذایی در گیاه پس از کاربرد بیوچار را افزایش دهد (۶).

در هر دو آزمایش سطوح کود شیمیایی اثر معنی داری بر غلظت نیتروژن اندام هوایی اسفناج داشت (جدول ۳). به طوریکه با کاربرد سطوح (۸۰ میلی گرم نیتروژن و ۱۵ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و (۱۵۰میلی گرم نیتروژن و ۳۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) کود شیمیایی در آزمایش اول، میانگین غلظت نیتروژن کل اندام هوایی اسفناج به ترتیب ۵۳/۱۴ و ۷۸/۷۴ درصد و در آزمایش دوم به ترتیب ۱۳۶ و ۱۶۲/۸ درصد نسبت به سطح بدون کود (تیمار شاهد) افزایش یافت (جدول ۵). شیخی و رونقی (۳۷) بیان کردند کاربرد نیتروژن در مقایسه با شاهد، جذب کل نیتروژن اندام هوایی اسفناج را افزایش داد. زاهدی فر و همکاران (۴۵) گزارش کردند که با کاربرد نیتروژن در محیط کشت گیاه، جذب نیتروژن در ریشه، شاخساره و میوه گوجه فرنگی افزایش یافت. برهمکنش کود شیمیایی

Archive of SID

www.SID.ir

و بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس (آزمایش اول) بر میانگین غلظت نیتروژن کل اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) و بیشترین مقدار نیتروژن کل در اندام هوایی اسفناج (۴/۹۴درصد) در سطح ۳ درصد وزنی بیوچار و سطح ۱۵۰میلی گرم نیتروژن و ۳۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک بدست آمد که ۳ برابر تیمار شاهد بود (جدول ۵) در آزمایش دوم اثر برهمکنش بیوچار و کود شیمیایی بر میانگین غلظت نیتروژن کل اندام هوایی اسفناج معنی‌دار نبود (جدول ۵). کاربرد بیوچار می‌تواند تحرک یا مهار فعالیت میکروبی را که منجر به افزایش و یا کاهش نیتریفیکاسیون می‌شود تحت تأثیر قرار دهد، که بیشتر به دلیل تثبیت نیتروژن بوسیله باکتری‌های تثبیت کننده، سبب افزایش میزان فراهمی این عنصر و در نتیجه افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس برای گیاه می شود (۸). به طور کلی مطالعات مختلف نشان داد که کاربرد بیوچار سبب بهبود کارایی کود نیتروژنی در خاک‌های مختلف و در نهایت جذب بیشتر نیتروژن در گیاه می‌شود (۱۰). ژانگ و همکاران (۴۶) بیان کردند برهمکنش بیوچار و کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد اسفناج و افزایش راندمان استفاده از کود نیتروژن شده است. راج‌کاوج و همکاران (۳۶) اثر چند نوع بیوچار مختلف (ذرت، فندق، بلوط، کاج و زباله غذایی) را بر غلظت نیتروژن ذرت مورد مطالعه قرار دادند آنها بیان کاربرد که کاربرد بیوچار سبب افزایش غلظت نیتروژن در گیاه ذرت شد. میانگین غلظت نیتروژن اندام هوایی اسفناج در دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۳/۶۳ و ۳/۴۳ در صد بود که تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵)، بنابراین دمای تولید بیوچار اثر معنی‌داری بر میانگین وزن خشک اندام هوایی اسفناج نداشت.

جدول ۵- اثرکاربرد بیوچار تولید شده در دو دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس و کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر) بر غلظت نیتروژن (درصد) اندام هوایی اسفناج

Table 5- Effect of biochar prepared in two temperature (200 and 400 °C) and fertilizers (Nitrogen and phosphorus) on nitrogen concentration (%)

سطوح کود شیمیایی fertilizer levels نیتروژن و فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (Nitrogen and phosphorus) (mg kg^{-1})	آزمایش اول: سطوح بیوچار تولیدی در دمای 200 °C (درصد وزنی) First test: biochar level prepared at 200 °C (% W)			
	0	3	6	میانگین Mean
0	1.61^{d}	2.95^{c}	3.07^{c}	2.54C
15 و 80	3.49^{bc}	3.94^{ab}	4.13^{ab}	3.86B
30 و 150	4.5^{a}	4.94^{a}	4.51^{a}	4.54A
میانگین Mean	3.21B	3.79A	3.9**A**	**3.63A**
	آزمایش دوم: سطوح بیوچار تولیدی در دمای 400 °C (درصد وزنی) Second test: biochar levels prepared at 400 °C (% W)			
	0	3	**6**	
0	1.61^{d}	1.67^{c}	1.88^{c}	1.72B
15 و 80	3.63^{b}	4.26^{ab}	4.29^{ab}	4.06A
30 و 150	4.44^{ab}	4.49^{ab}	4.61^{a}	4.52A
میانگین Mean	3.23A	3.48A	3.59A	**3.43A**

*میانگین هایی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشابه بزرگ و میانگین هایی که در متن جدول دارای یک حرف مشابه کوچک هستند، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌دار نمی باشند ($P<0.05$).

*Means in each column or row followed by the same capital letters and means in the body of the table followed by the same lowercase letters are not significantly different ($p\leq 0.05$) by Duncan's Multiple Range Test.

غلظت فسفر کل اندام هوایی اسفناج:

بر اساس داده های جدول ۳ کاربرد بیوچار و کود شیمیایی در هر دو آزمایش اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میانگین غلظت فسفر کل اندام هوایی اسفناج داشت اما برهمکنش بیوچار و کود شیمیایی اثر معنی‌داری نداشت. با کاربرد سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی بیوچار در آزمایش اول میانگین غلظت فسفر اندام هوایی اسفناج به ترتیب ۴۵/۷۵ و ۴۶/۶۹ درصد و در آزمایش دوم به ترتیب ۲۲/۸۷ و ۲۵/۲۳ درصد افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت (جدول ۶). جذب عناصر غذایی بوسیله گیاه تابع دو عامل رشد سیستم ریشه‌ای گیاه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد. مطالعات نشان داد که بسیاری از بیوچارها به دلیل داشتن سطوح تبادلی زیاد می‌توانند منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی شده (۳۰)، و کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند قابلیت دسترسی فسفر را تحت تأثیر قرار دهد (۴۰). دلوکا و همکاران (۹)، و ماجور و

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران (۳۱) افزایش در قابلیت استفاده فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس در اثر کاربرد کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن در خاک و در نتیجه بهبود جذب آن در گیاه بوسیله گیاه را گزارش نموده‌اند. بیوچار علاوه بر اینکه خود حاوی مقدار زیادی از عناصر مذکور است با تأثیر بر پ‌هاش، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ایجاد کمپلکس‌های آلی، بهبود ویژگی های فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک مؤثر است (۲۷ و ۳۸).

همانگونه که از داده های جدول ۶ مشاهده می شود کاربرد سطوح (۸۰ میلی گرم نیتروژن و ۱۵ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و (۱۵۰میلی گرم نیتروژن و ۳۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) کود شیمیایی در آزمایش اول میانگین غلظت فسفر اندام هوایی اسفناج را به ترتیب ۵/۲۷ و ۵۸/۴۶ درصد و در آزمایش دوم به ترتیب ۳۸/۹ و ۱۱۰ درصد نسبت به سطح بدون کود (تیمار شاهد) افزایش داد. مظلومی و رونقی (۲۹) نیز گزارش کردند با کاربرد ۸۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک نسبت به ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، غلظت فسفر اندام هوایی اسفناج ۱۴ درصد افزایش داشته است.

بر اساس داده های جدول ۶ کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی‌دار غلظت فسفر اندام هوایی گیاه اسفناج نسبت به بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس (از ۵/۵۵ به ۴/۹۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) شد. حسین و همکاران (۱۹) در پژوهشی نشان دادند که دماهای مختلف تولید بیوچار سبب تغییرات در ویژگی‌های بیوچار شده است که ممکن است بر عملکرد و غلظت عناصر تأثیر گذار باشد.

جدول ٦- اثرکاربرد بیوچار تولید شده در دو دمای ۲۰۰ و ٤۰۰ درجه سلسیوس و کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر) بر غلظت فسفر (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) اندام هوایی اسفناج

Table 6- Effect of biochar prepared in two temperature (200 and 400 °C) and fertilizers (Nitrogen and phosphorus) on phosphorus concentration (mg gr^{-1} dry weight)

سطوح کود شیمیایی fertilizer levels نیتروژن و فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (Nitrogen and phosphorus) (mg kg^{-1})	آزمایش اول: سطوح بیوچار تولیدی در دمای ۲۰۰ °C (درصد وزنی) First test: biochar level prepared at 200 °C (% W)			
	0	3	6	میانگین Mean
0	3.13^{c}	5.34^{b}	5.18^{b}	4.55 B
15 و 80	3.55^{c}	5.55^{b}	5.56^{b}	4.79B
30 و 150	6.04^{b}	7.66^{a}	7.92^{a}	7.21A
میانگین Mean	4.24B	6.18A	6.22A	**5.55A**
	آزمایش دوم: سطوح بیوچار تولیدی در دمای ۴۰۰ °C (درصد وزنی) Second test: biochar levels prepared at 400 °C (% W)			
	0	3	**6**	
0	3.13^{d}	3.34^{d}	3.41^{d}	3.29C
15 و 80	3.55^{d}	4.93^{c}	5.22^{bc}	4.57B
30 و 150	6.04^{b}	7.32^{a}	7.36^{a}	6.91A
میانگین Mean	4.24B	5.21A	5.31A	**4.92B**

*میانگین هایی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشابه بزرگ و میانگین هایی که در متن جدول دارای یک حرف مشابه کوچک هستند، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌دار نمی باشند ($P<0.05$).

*Means in each column or row followed by the same capital letters and means in the body of the table followed by the same lowercase letters are not significantly different ($p\leq 0.05$) by Duncan's Multiple Range Test.

غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج:

کاربرد بیوچار و کود شیمیایی در هر دو آزمایش اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج داشت (جدول ۳). با کاربرد بیوچار بیشترین میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج در آزمایش اول و دوم به ترتیب ۱۲۲/۴۵ و ۱۲۱/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک و در سطح ۶ درصد وزنی مشاهده شد (جدول ۷). کاربرد سطوح ۳ و ۶ درصد وزنی بیوچار در آزمایش اول به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۷۲/۹۷ و ۸۹/۲۴ درصدی و در آزمایش دوم به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۸۸/۰۳ و ۱۰۴/۸۸ درصدی میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج نسبت به شاهد شد (جدول ۷). کاربرد بیوچار ممکن است میزان پتاسیم کل و قابل دسترس را افزایش دهد. لیو و همکاران (۲۹) در پژوهشی نشان

Archive of SID

www.SID.ir

دادند کاربرد بیوچار حاصل از لجن فاضلاب، پتاسیم کل و قابل دسترس را افزایش داد. بی‌آی‌درمن و هارپول (۱) بیان کردند که کاربرد بیوچار می‌تواند غلظت پتاسیم بافت گیاهی را افزایش دهد.

میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج با کاربرد کود شیمیایی در هر دو آزمایش به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۷). با کاربرد سطوح (۸۰ میلی گرم نیتروژن و ۱۵ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و (۱۵۰میلی گرم نیتروژن و ۳۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک) کود شیمیایی در آزمایش اول میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج به ترتیب به میزان ۱۰/۷۴ و ۱۹/۷۹ درصد و در آزمایش دوم به ترتیب به میزان ۵/۵۷ و ۹/۷۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت (جدول ۷). هاولین و همکاران (۱۸) بیان کردند که افزایش فسفر می‌تواند ناسازگاری با برخی عناصر از جمله پتاسیم داشته باشد. بنابراین غلظت پتاسیم اندام هوایی ممکن است به دلیل برهمکنشی که با فسفر به کاربرده شده داشته، کاهش یافته باشد. همچنین فرزانه و همکاران (۱۲) در آزمایشی بیان کردند که با کاربرد سطوح نیتروژن در محلول غذایی غلظت پتاسیم برگ گوجه فرنگی کاهش یافت.

بر همکنش بیوچار و کود شیمیایی در آزمایش اول اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) بر میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج داشت (جدول ۳). بیشترین میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج (۱۲۴/۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) مربوط به سطح ۶ درصد وزنی بیوچار و سطح صفر کود شیمیایی (شاهد) بود که نسبت به شاهد ۹۷/۰۲ درصد افزایش داشت (جدول ۷). در هر دو آزمایش و در هر سه سطح کود شیمیایی، با کاربرد بیوچار میانگین غلظت پتاسیم اندام هوایی اسفناج روند افزایشی داشت (جدول ۷).

کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس سبب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه اسفناج نسبت به بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس (از ۹۱/۵۵ به ۹۷/۶۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) شد (جدول ۷)، شاید دلیل این امر را بتوان به مقدار بیشتر پتاسیم در بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس نسبت داد (جدول ۲). افزایش دما در طول فرآیند تولید بیوچار، سبب انتقال کاتیون‌های (Ca, Mg, K, Na) به داخل اکسی هیدروکسیدها و کربنات‌ها و چسبیدن به بیوچار می‌شود (۴۴).

جدول ۷- اثرکاربرد بیوچار تولید شده در دودمای ۲۰۰ و ٤۰۰ درجه سلسیوس و کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر) بر غلظت پتاسیم (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) اندام هوایی اسفناج

Table 7- Effect of biochar produced in two temperature (200 and 400 °C) and fertilizers (Nitrogen and phosphorus) on potassium concentration (mg gr^{-1} dry weight)

سطوح کود شیمیایی fertilizer levels نیتروژن و فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) (Nitrogen and phosphorus) ($mg\ kg^{-1}$)	آزمایش اول: سطوح بیوچار تولیدی در دمای ۲۰۰ °C (درصد وزنی) First test: biochar level prepared at 200 °C (% W)			
	0	3	6	میانگین Mean
0	65.16^{d}	111.32^{b}	124.5^{a}	100.32A
15 و 80	58.33^{d}	107.5^{b}	105.93^{b}	90.59B
30 و 150	54.77^{d}	89.53^{c}	106.93^{b}	83.74C
میانگین Mean	59.42C	102.78B	112.45A	**91.55B**
	آزمایش دوم: سطوح بیوچار تولیدی در دمای ۴۰۰ °C (درصد وزنی) Second test: biochar levels prepared at 400 °C (% W)			
	0	3	6	
0	65.16^{d}	116^{abc}	126.23^{a}	102.47A
15 و 80	58.33^{d}	113.3^{bc}	119.53^{ab}	97.06AB
30 و 150	54.77^{d}	105.9^{c}	119.46^{ab}	93.38B
میانگین Mean	59.42C	121.74A	121.74A	**97.63A**

*میانگین هایی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشابه بزرگ و میانگین هایی که در متن جدول دارای یک حرف مشابه کوچک هستند،بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌دار نمی باشند ($P<0.05$).

*Means in each column or row followed by the same capital letters and means in the body of the table followed by the same lowercase letters are not significantly different ($p\leq 0.05$) by Duncan's Multiple Range Test.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد بیوچار تولید شده در هر دو دما تأثیر مثبتی بر وزن خشک گیاه اسفناج نداشت که شاید دلیل آن کوتاهی طول دوره رشد گیاه و یا نوع بیوچار تولیدی باشد. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار غلظت نیتروژن و فسفر در اندام هوایی اسفناج را افزایش داده است که شاید دلیل آن را بتوان به مقدار نسبتاً مناسب نیتروژن و فسفر موجود در بیوچار نسبت داد. بهترین سطح پیشنهادی بر اساس تحقیق حاضر، سطح ۶ درصد وزنی بیوچار است که در هر یک از سطوح کود شیمیایی غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اندام هوایی افزایش داده است. با توجه به نتایج بدست آمده، وزن خشک و غلظت نیتروژن اندام هوایی اسفناج بین دو دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. اما کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۲۰۰ نسبت به ۴۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب سبب افزایش و کاهش معنی‌دار فسفر و پتاسیم اندام هوایی اسفناج شد. از آنجایی که با افزایش دمای تولید بیوچار، پهاش بیوچار افزایش می‌یابد لذا دمای پایین تر جهت تولید بیوچار می تواند برای خاک‌های آهکی مناسب تر باشد. پیشنهاد می شود آزمایش های بیشتری در شرایط مزرعه ای با گیاهانی با طول دوره رشد طولانی تر و با بیوچارهای حاصل از مواد دیگر صورت گیرد.

سپاسگزاری

از مرحوم جناب آقای دکتر نجفعلی کریمیان به خاطر راهنمایی های ارزنده شان و از سایر کارکنان بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جهت فراهم نمودن امکانات و تسهیلات لازم برای انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Biederman L. A., and Harpole W. S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. Global Change Biology Bioenergy, 5(2): 202-214.
2- Blackwell P., Shea S., Storer P. Z., Solaiman Z., Kerkmans M., and Stanley I. 2007. Improving wheat production with deep banded oil mallee charcoal in Western Australia. In First Asia Pacific Biochar Conference, Terrigal, Australia (Vol. 30).
3- Blackwell P., Reithmuller G., and Collins M. 2009. Biochar application to soil. In Lehmann, J., Joseph, S. (eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London: Earthscan Publishing. 405p.
4- Bremner J. M. 1996. Nitrogen total. In: Sparks, D. L. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp.1085-1121.
5- Carter S., Shackley S., Sohi S., Suy T. B., and Haefele S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (Lactuca sativa) and cabbage (Brassica chinensis). Agronomy, 3:404-418.
6- Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., and Joseph S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research, 45(8): 629-634.
7- Chapman H. D., and Pratt D. F. 1961. Methods of Analysis for Soil, Plant, and Water. University. California. Division Agriculture. Soil Science, PP. 60-62.
8- Clough T. J., and Condron L. M. 2010. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction. Journal of Environmental Quality, 39(4): 1218-1223.
9- Deluca T. H., MacKenzie M. D., and Gundale M. J. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. In: Lehmann J., Joseph S. (eds) Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, London, pp 251–270.
10- Ding Y., Liu Y. X., Wu W. X., Shi D. Z., Yang M., and Zhong Z. K. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. Water, Air, and Soil Pollution, 213(1-4): 47-55.
11- Enders A., Hanley K., Whitman T., Joseph S., and Lehmann J. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. Bioresource Technology, 114: 644-653.
12- Farzaneh N., Golchin A., Hashemi Majd K. 2010. The effect of different supplement nitrogen and potassium levels and on yield, nitrogen and potassium concentration of tomato leaves. Science and Technology of Greenhouse Cultivation, 1(1): 27-33. (in persian).
13- Gaskin, J. W., Steiner C., Harris K., Das K. C., and Bibens B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE, 51(6): 2061-2069.
14- Gaskin J. W., Speir R. A., Harris K., Das K. C., Lee R. D., Morris L. A., and Fisher D. S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agronomy Journal, 102(2): 623-633.
15- Gee G. W., and Bauder J. W. 1986. Particle size analysis, hydrometer methods. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part 2. American Society of Agronomy. Inc: Madison, WI. pp: 383-411.

Archive of SID

www.SID.ir

16- Glyn, M. F. 2002. Mineral nutrition, production and artemisin content in Artemisia annual. Acta Horticulture, 426: 721-728.
17- Grant, C., Bittman S., Montreal M., Plenchette C., and Morel C. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. Canadian Journal of Plant Science, 85(1): 3-14.
18- Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L., and Nelson W. L. 1999. Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management. Prentice – Hall, Inc.
19- Hossain M. K., Strezov V., Chan K. Y., Ziolkowski A., and Nelson P. F. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. Journal of Environmental Management, 92(1), 223-228.
20- Jeffery S., Verheijien F. G. A., van der Velde M., and Bastos A. C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, 144: 175–187.
21- Ju X. T., Kou C. L., Christie P., Dou Z. X., and Zhang F. S. 2007. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. Environmental Pollution, 145(2): 497-506.
22- Kishimoto S., and Sugiura G. 1985. Charcoal as a soil conditioner. International Achievement Future, 5: 12-23.
23- Knudsen D., Peterson G. A., and Pratt P. F. 1982. Lithium, sodium and potassium. Part 3. In: Page, A. L. (Ed.).part3. Methods of Soil Analysis, Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 225-246.
24- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. Front. Ecol. Environ, 5: 381–387.
25- Lehmann J., and Joseph S. 2009. Biochar for environmental management. Science and Technology. London: Earthscan Publishing, 405p.
26- Lehmann J., and Rondon M. A. 2005. Bio-char soil management on highly weathered soil in the humid tropics'. Chapter 36. In: Uphoff N. (ed) Biological approaches to sustainable soil systems. CRC, Boca Raton, pp 517–530.
27- Lehmann J., Kem D., German L., McCann J., Martis G. C., and Moreira L. 2003. Soil fertility and production potential. Chapter 6. In: Lehmann J, D. C. Kern, B. Glaser, W. I. Woods (eds) Amazonian dark earths: origin, properties, management. Kluwer Academic, Dordrecht, pp 105–124.
28- Lindsay W., and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, 42(3): 421-428.
29- Liu T., Liu B., and Zhang W. 2014. Nutrients and heavy metals in Biochar produced by sewage sludge pyrolysis: It's application in soil amendment. Polish Journal of Environmental Studies, 23(1): 271-275.
30- Major J., Steiner C., Downie A., and Lehmann J. 2009. Biochar effects on nutrient leaching. In Lehmann, J., Joseph, S. (eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London: Earthscan publishing. 405p. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment. 5: 381-387.
31- Major J., Rondon M., Molina D., Riha S. J., and Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil, 333(1-2): 117-128.
32- Mazloumi F., and Ronaghi A. 2012. Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. Journal of Science and Tecnology of Culture, 9:85-94. (in persian).
33- Nelson D. W., and Sommers L. E. 1996. Total carbn, organic carbn, and organic matter. 3rd Ed. In: Sparks, D. L., et al., (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical and microbiological properties. Soil Science of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp: 961-1010.
34- Page A. L., Miller R. H., and Keeney D. R. 1982. Methods of Soil Analysis, Part2, 2nd Ed., Soil. Sci. Soc. Am. and Am. Soc. Agron., Madison.WI.
35- Rhoades J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.). Part 3. 3rd ed. American Society of Agronomy, Inc: Madison, WI. pp: 417-436.
36- Rajkovich S., Enders A., Hanley K., Hyland C., Zimmerman A. R., and Lehmann J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 48(3): 271-284.
37- Sheikhi J., and Ronaghi A. 2013. Influence of nitrogen and salinity levels on yield, nitrogen uptake, nitrate concentration and chlorophyll content of spinach and some properties of post-harvest soil in a calcareous soil. Journal of Science and Tecnology of Culture, 12: 1-11. (in Persian with English abstract).
38- Steiner C., Das K. C., Garcia M., Forster B., and Zech W. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralso. Pedobiologia, 51: 359–366.
39- Takebe M., Ishihara T., Matsuno K., Fujimoto J., and Yoneyama T. 1995. Effect of nitrogen application on the contents of sugars, ascorbic acid, nitrate and oxalic acid in spinach (Spinacia oleracea L.) and komatsuna (*Brassica campestris* L.). Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition (in Japanease with English abstract), 66: 238-246.

Archive of SID

www.SID.ir

40- Thies J. E., and Rillig M. C. 2009. Characteristics of biochar: biological properties. Sterling. In Lehmann, J. and Joseph, S. (eds.). Biochar for Environmental Management. Science and Technology. London. Earthscan Publishing, PP: 85-105.
41- Thomas G. W. 1996. Soil pH and soil asidity. In: Methods of Soil Analysis D. L. Sparks et al. (eds.) part 3. 3rd ed. American Scoiesty of Agronomy. Inc: Madison, WI. pp: 475-490.
42- Vaccari F. P., Baronti S., Lugato E., Genesio L., Castaldi S., Fornasier F., and Miglietta F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy, 34(4): 231-238.
43- Watanabe F. S., and Olsen S. R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Science Society of America Journal, 29(6): 677-678.
44- Yuan J. H., Xu R. K., and Zhang H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bioresource Technology, 102(3): 3488-3497.
45- Zahedifar M., Ronaghi A. M., Moosavi S. A. A., and S. Safarzadeh Shirazi. 2010. Influence of salinity and nitrogen levels on growth, yield, and nutrient uptake of tomato in hydroponics culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse culture, 1 (2):31-40.
46- Zhang W. J., Li Z. F., Zhang Q. Z., Du Z. L., Ma M. Y., and Wang Y. D. 2011. Impacts of Biochar and Nitrogen Fertilizer on Spinach Yield and Tissue Nitrate Content from a Pot Experiment [in n Japanease with English abstract]. Journal of Agro-Environment Science, 10:1946-1952.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 557-569

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۵۶۹-۵۵۷

Effect of Pistachio Residue Biochar Prepared at Two Different Temperatures and Different Nitrogen and Phosphorus Levels on Some Macronutrients Concentration and Spinach Growth

H. Rajabi[1]- S. Safarzadeh[2]*-A. Ronaghi[3]

Received:03-05-2016
Accepted: 16-11-2016

Introduction: Application of chemical fertilizer is one of the methods to supply nutrient elements for plants and it is an effective method to meet plants nutrients demands; but organic fertilizers such as biochar application can be used as a proper solution to decrease gases resulted from agricultural activities, increase soil's organic matters and to manage soil fertility. Biochar can increase soil fertility of some soils, increase agricultural productivity, and provide protection against some foliar and soil-borne diseases. Biochar is a high-carbon charcoal used as a soil amendment and it is made of plant biomass and produced during pyrolysis process in the absence of oxygen. The ability of biochar to store C and improve soil fertility will depend on its physical and chemical properties, which can be varied in the pyrolysis process (pyrolysis temperature) or through the choice of raw materials.

Materials and methods: In order to study the effect of pistachio residue biochar produced in two different temperatures and chemical fertilizer on macronutrients concentration and growth of spinach (viroflay) (*Spinacia oleracea*), a greenhouse experiment was conducted in a factorial (2×3×3) arranged in a completely randomized design with three replications. Treatments consisted of three biochar levels (0, 3, and 6% by weight) prepared at two temperatures (200 and 400 °C), and three fertilizers level [0 (blank), (Nitrogen=80 and Phosphorous=15 mg kg^{-1} soil) and (Nitrogen =150 and Phosphorous =30 mg kg^{-1} soil)]. Bulk soil sample was collected from the surface horizon (0–30 cm) in Bajgah Agricultural Station of Shiraz University, Iran. Pots contained 2 kg dry soil. Treatments were added to all pots uniformly and were mixed. Then soil samples incubated in 25℃ for 30 days; and soil moisture was kept at about field capacity (FC). Following incubation time, based on soil analysis nutrients were added to all pots uniformly. Ten seeds were sown in each pot, and soil moisture was kept at about field capacity. Spinach seedlings were thinned to five uniform plants per pot 15 days after emergence. The pots were then maintained under FC. Plants were harvested after 8 weeks after emergence. Aerial parts of spinach plants were separated and oven dried and were weighed and ground. Total nitrogen (N), phosphorous (P) and potassium (K) in plants were measured. Statistical analysis was performed using SAS and Excel statistical software packages.

Results and discussion: Results showed that biochar prepared at 200 and 400℃ had no significant effect on spinach dry weight (DW). Chemical fertilizer significantly increased average of spinach DW. Chemical fertilizers improved N and P concentration in plant, therefore increase growth of spinach than control. Biochar prepared at 200 and 400℃ significantly increased shoots N, P and K concentration of spinach compared to that of control; but biochar prepared at 400℃ had significant effect on shoots N and P concentration. Biochar might be direct nutrition resources for plant and supply many nutritional elements such as N, P and K for plant and increase concentration of these elements in plant. Application of chemical fertilizer significantly increased N and P and significantly decreased K concentration in spinach shoot. Several studies showed that application of biochar improved efficiency of nitrogen fertilizer in several soils and finally more nitrogen absorbed by plant. Biochar prepared at two temperatures had no significant effect on DW and shoot N concentration of spinach. However, addition of biochar prepared at 400℃ significantly decreased shoot P concentration and significantly increased shoot K concentration in spinach, as compared to biochar prepared at 200℃.

Conclusion: Results indicated that application of biochar prepared at 200 and 400℃ improve composition of spinach but had no effect on its DW, probably because of short term of plant growth, kind of biochar, and biochor levels. Applications of biochar, increased shoot N and P concentration; it might be due to improving physical, chemical and biological properties of soil with addition of biochar. Also, biochar supplied nutritional elements and improve efficiency of chemical fertilizer; therefore it is appropriate that biochar applied with chemical fertilizers. Our results showed that 6% biochar level was the best suggested levels that in three

1, 2, and 3- Former M.Sc. Student, Assistant Professor and Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, respectively
(*- Corresponding Author Email: safarzadeh@shirazu.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

chemical fertilizer levels increased shoot N and P concentration of spinach. With increasing temperature for preparing biochar, pH of biochar increased; so, it might be concluded that biochar prepared at low temperature was appropriate than biochar prepared at high temperature for application to calcareous soils.

Keywords: Chemical composition, Fertilizer, Spinach yield

Archive of SID

www.SID.ir