اثر بیوچار سبوس برنج، همراه و غنی شده با سوپرفسفات تریپل بر قابلیت دسترسی فسفر و رشد ذرت در مزرعه

حسین کیخسروی، علی عباس پور[1] و حمیدرضا اصغری

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود؛ hossein.keykhosravi@gmail.com

دانشیار گروه آب و خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود؛ abbaspour2008@gmail.com

دانشیار گروه علوم زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود؛ hamidasghari@gmail.com

دریافت: 99/2/10 و پذیرش: 99/7/15

چکیده

یکی از روش‌های جلوگیری از نامحلول شدن کودهای شیمیایی فسفره در اراضی کشاورزی، استفاده از کودهای آلی نظیر بیوچار می‌باشد. بر این اساس به منظور بررسی تأثیر بیوچار سبوس برنج (تولید شده در دمای 550 درجه سانتیگراد) به تنهایی، همراه (مخلوط) با فسفر، و غنی شده با فسفر بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد ذرت، یک آزمایش مزرعه‌ای بر پایه طرح کاملاً تصادفی با 7 تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد، کود فسفر (350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار)، بیوچار در دو سطح (2 و 4 تن در هکتار)، بیوچار غنی شده با کود فسفر (در دو سطح 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل) و بیوچار همراه با کود فسفر (بیوچار مخلوط شده با 350 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل) بود. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک طی فصل رشد گیاه در سه مرحله از خاک نمونه‌برداری شد و پس از 120 روز از رشد گیاه ذرت، نمونه‌برداری از گیاه برای تعیین عملکرد و اجزائ عملکرد گیاه انجام شد. نتایج نشان داد که در انتهای رشد گیاه (120 روز) تقریباً همه تیمارهای حاوی بیوچار نسبت به شاهد و حتی نسبت به تیمار کود فسفر پ‌هاش خاک را کاهش (احتمالاً به‌خاطر تجزیه ترکیبات آلی موجود در بیوچار) و فسفر محلول و قابل دسترس را افزایش دادند و در این خصوص، بیوچار همراه با سوپرفسفات تریپل بهترین تیمار (فسفر محلول و قابل دسترس به ترتیب 190 و 105 درصد افزایش نسبت به شاهد) بود. تیمار شاهد کمترین عملکرد دانه (9/1 تن در هکتار) و تیمار 4 تن در هکتار بیوچار غنی شده با فسفر بیشترین عملکرد دانه (15/9 تن در هکتار) را داشتند. همچنین، تیمار 4 تن بیوچار بیشترین غلظت فسفر دانه (0/79 درصد) و ریشه (0/47 درصد) را داشت. نتایج نشان‌دهنده این بود که اگر چه کاربرد کود سوپرفسفات تریپل به تنهایی سبب افزایش قابلیت دسترسی فسفر می‌گردد، اما در طولانی‌مدت از تأثیر آن کاسته خواهد شد و تیمارهای توام فسفر و بیوچار تأثیر بلند مدت بهتری بر قابلیت جذب فسفر خواهند داشت. به‌طور کلی، برای خاک‌های فقیر از نظر فسفر و مواد آلی، تیمار 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار به دلیل داشتن بیشترین عملکرد دانه ذرت توصیه می‌شود، اگر چه مسائل زیست‌محیطی مربوط به مصرف زیاد فسفر و هزینه‌های تحمیل شده بر کشاورزان را بایستی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: جذب فسفر، غنی سازی کود شیمیایی، کود آلی فسفردار

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی، گروه آب و خاک

مقدمه

کودهای شیمیایی یکی از منابع عمده فسفر برای گیاهان محسوب می‌شوند، اما مطالعات نشان داده است که به دلیل پیچیدگی رفتار فسفر در خاک‌های آهکی کمتر از 20 درصد کود فسفره مصرفی توسط گیاه برداشت می‌شود، و بقیه آن در خاک به شکل غیرقابل جذب در می‌آید (میرباقری و همکاران، 1391؛ وانس و همکاران، 2003). فسفر به عنوان یک منبع غیر قابل تجدید از دغدغه‌های اصلی انسان به شمار می‌آید. یکی از راه‌های جلوگیری از کمبود فسفر در گیاهان و یا نامحلول شدن کودهای فسفره در خاک استفاده از کودهای آلی است. تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی و یا توأم با آنها می‌تواند موجب افزایش محصول و جلوگیری از آلودگی‌های زیست-محیطی شود. یکی از انواع کودهای آلی، بیوچار (Biochar) می‌باشد که یک ماده غنی از گروه‌های آروماتیک کربن است و در اثر هیدرولیز حرارتی مواد آلی تحت شرایط محدود اکسیژن و در دماهای کمتر از 700 درجه سانتی‌گراد تولید می‌شود (لهمن و همکاران، 2011). تحقیقات نشان می‌دهد که بیوچار نقش زیادی در افزایش ذخیره کربن، بهبود حاصلخیزی خاک و تعادل اکوسیستم-های خاکی دارد. این تاثیرات مثبت بیوچار به برخی از ویژگی‌های ذاتی این ماده نظیر تخلخل و سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، تجزیه زیستی کم و غیره مربوط می‌شود (رحمان و همکاران، 2018). همچنین بیوچار توانایی بالایی در تعدیل اسیدیته خاک، تحریک فعالیت میکروبی جامعه خاک و همچنین افزایش سرعت نیترات‌زایی دارد (بال و همکاران،2010). بیوچار موجب خنثی کردن pH خاک‌ها و آماده کردن شرایط برای فعالیت بیشتر ریزجانداران خاک در چرخه‌های عناصر غذایی می-گردد. به طور کلی این ترکیات آلی سبب تغییر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک می‌شود (اندرسون و همکاران، 2011). اکثر پژوهشگران بر این باورند که استفاده از بیوچار در افزایش قابلیت دسترسی فسفر و نهایتاً افزایش بهره‌وری فسفر در خاک‌های کشاورزی سهیم است (کوی و همکاران،2011).

فسفر به عنوان یکی از عناصر غذایی اصلی مورد نیاز گیاهان، نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی داشته و مطالعات زیادی در مورد تاثیر بیوچار بر قابلیت دسترسی فسفر در ایران (رحیمی و همکاران، 1397) و سایر کشورها (رحمان و همکاران، 2018؛ رفیق و همکاران، 2020) انجام شده است. اطلاعات در مورد اثر بیوچار بر روی محصولات زراعی از جمله ذرت و تأثیرات آن در جلوگیری از هدر رفت فسفر، تا حدودی اندک می‌باشد. همچنین بایستی یادآور شد که تحقیقات بسیار کمی در زمینه تأثیر بیوچار همراه با فسفر (افزودن کود فسفر قبل و بعد از حرارت دادن بقایای گیاهی و تولید بیوچار) بر حلالیت و قابلیت جذب فسفر توسط گیاهان مختلف انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به پژوهش‌های ژانگ و همکاران (2019) اشاره نمود. آنان با افزودن فسفات پتاسیم به ضایعات کشاورزی نظیر سبوس برنج و ضایعات ذرت و حرارت دادن آنها در دمای 550 درجه سانتی‌گراد و تولید بیوچار، از آن برای غیر متحرک نمودن عناصرسنگین استفاده نمودند. کاربرد این بیوچارها به خاک‌های آلوده سبب غیر متحرک نمودن مس (14 تا 24 درصد) و کادمیوم (19 تا 33 درصد) شد. فهد و همکاران (2016) نیز تأثیر کاربرد بیوچار (تولید شده از سبوس برنج) ترکیب شده با کودهای فسفر را بر رشد گیاه برنج در شرایط گلدانی بررسی نمودند. آنها دریافتند که مصرف 2 گرم بیوچار ترکیب شده با 300 گرم کود سوپرفسفات تریپل در هر گلدان عملکرد دانه برنج را نسبت به مصرف بیوچار به تنهایی 7 درصد افزایش داد. لذا تحقیق حاضر سعی دارد تا با استفاده از بیوچار غنی شده به عنوان کود فسفر و اصلاح کننده خاک موجب بهبود حلالیت تدریجی فسفر خاک و کاهش هدر رفت کودهای فسفره در شرایط مزرعه‌ای گردد. بنابراین حاصل این عمل، تولید مواد غذایی سالم و با کیفیت بالا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. میانگین ارتفاع این منطقه از سطح دریا 1366 متر با میانگین بارندگی سالانه بین 160-150 میلی‌متر بوده که بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی شاهرود میانگین سالانه دما در این منطقه 14/4 درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. به منظور تعیین ویژگی‌های خاک، از عمق 30- 0 سانتی-متری خاک مزرعه نمونه‌برداری انجام و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول 1 نشان داده شده است. برای تهیه بیوچار، سبوس برنج در داخل کوره مخصوص در دمای 550 درجه سانتی‌گراد به مدت 12 ساعت حرارت داده شد(ژنگ و همکاران، 2013؛ عباس پور و همکاران، 2020). برای تهیه بیوچار غنی شده با فسفر ابتدا سبوس برنج با کود سوپرفسفات تریپل آغشته شده و در داخل کوره قرار داده شد. مقدار کود فسفر برحسب 350 کیلو گرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار محاسبه شد.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و بیوچار مورد مطالعه

ویژگی‌ها	واحد	خاک	بیوچار	بیوچار غنی شده	توضیحات و منابع
هدایت الکتریکی	دسی‌زیمنس بر متر	0/8	0/07	0/21	خاک در عصاره گل اشباع و بیوچار در تعلیق 1:10 خاک به آب (توماس، 1996)
پ‌هاش	-	7/89	8/02	8/06	خاک در گل اشباع و بیوچار در تعلیق 1:10 خاک به آب (توماس، 1996)
آهک	گرم در کیلوگرم	2/7	-	-	خنثی سازی با اسید (لوپرت و سوارز، 1996)
رس	درصد	22	-	-	هیدرومتر (جی و باودر، 1986)
سیلت	درصد	34	-	-	هیدرومتر (جی و باودر، 1986)
کربن آلی	درصد	0/79	46/5	-	هضم تر (نلسون و سامر، 1996)
نیتروژن کل	درصد	0/05	0/51	0/65	(برمنر و مولوانی، 1986)
فسفر کل	درصد	-	0/04	3/80	سوزاندن خشک (اسپارکز و همکاران، 1996)
فسفر قابل دسترس	میلی‌گرم بر کیلوگرم	14	7/46	35/70	اولسن (واتانابه و اولسن، 1965)
فسفر محلول	میلی‌گرم در لیتر	0/061	0/12	0/45	خاک در تعلیق 2/5: 1و بیوچار در تعلیق 1:10 (مورفی و ریلی، 1962)
فسفر قابل استخراج با اسید سیتریک	گرم بر کیلوگرم	-	0/05	1/24	اسید سیتریک 2 درصد (راجان و همکاران، 1992)

کشت مزرعه‌ای در اوایل اردیبهشت ماه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: شاهد(C)، کود سوپر فسفات تریپل به مقدار350 کیلوگرم در هکتار(P)، بیوچار به مقدار 2 تن در هکتار (B1)، بیوچار به مقدار 4 تن در هکتار (B2)، 2 تن در هکتار از بیوچار غنی شده با کود سوپر فسفات تریپل (PB1)، 4 تن در هکتار از بیوچار غنی شده با کود سوپر فسفات تریپل (PB2)، 2 تن در هکتار از بیوچار همراه با 350 کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل (P+B1). لازم به ذکر است که در تهیه بیوچار غنی شده، قبل از حرارت دادن سبوس برنج، کود سوپرفسفات تریپل به صورت تعلیق در آب مقطر به آن اضافه شد و پس از هواخشک شدن در کوره حرارت داده شد، اما در بیوچار همراه با کود، پس از تهیه بیوچار، کود سوپرفسفات تریپل به صورت تعلیق به آن اضافه شد و مخلوط در هوای آزاد خشک شد. بایستی یادآوری کرد که در همه تیمارهای حاوی بیوچار و کود، نسبت های این دو یکسان (نسبت کود به بیوچار 0/175) بوده است.در عملیات آماده‌سازی زمین 21 کرت با طول 6 متر و عرض 4 متر مشخص گردید. ابتدا زمین مورد نظر توسط گاو آهن برگردان‌دار شخم زده شد و پس از آن اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. سپس توسط فاروئر پشته‌هایی به عرض 70 سانتی‌متر در جهت شمالی جنوبی ایجاد گردید. به این ترتیب هر کرت دارای 4 ردیف که فاصله ردیف‌ها از هم 70 سانتی متر و فاصله بذر روی ردیف 20 سانتی-متر در نظر گرفته شد. برای اعمال تیمارها ابتدا بر روی پشته‌ها شیارهایی به عمق 30 سانتی‌متر ایجاد شد و بعد از قرار دادن تیمارهایی همچون بیوچار، بیوچار غنی شده و کود فسفر در داخل شیارها، لایه‌ی نازکی از خاک بر روی آنها ریخته شد و سپس بذر ذرت (رقم سینگل کراس 747) کاشته شدند. اولین آبیاری در همان روز کاشت و به مدت 6 ساعت انجام شد. آبیاری‌های بعدی هر هفته یک بار و به‌صورت غرقاب انجام شد.

به منظور تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و مشاهده روند تأثیرگذاری بیوچار بر این خصوصیات نمونه‌برداری از خاک در سه مرحله (30, 70 و 120 روز پس از کاشت) انجام شد. طریقه نمونه‌برداری خاک از روی پشته‌ها به این صورت بود که از هر کرت به ازای هر ردیف 1 نمونه تصادفی از عمق 0 تا 25 سانتیمتر برداشته شد، سپس 4 نمونه هر کرت پس از مخلوط شدن به یک نمونه مرکب تبدیل شد.

جهت تعیین وزن خشک, عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه، در انتهای دوره رشد (120 روز) قسمت-های مختلف گیاه از جمله ریشه، ساقه، برگ و بلال گیاه ذرت از تیمارهای مختلف برداشته شدند. بوته‌های ذرت از مساحتی در حدود 1 متر مربع برای اندازه‌گیری عملکرد نهایی و اجزای عملکرد برداشت شدند. به این ترتیب بوته‌ها از نزدیک سطح زمین قطع گردید و ریشه گیاه نیز به‌صورت کامل از خاک درآورده شد و پس از جدا کردن خاک از ریشه‌ها، درون پاکت‌های شماره دار قرار داده و در آون به مدت 48 ساعت در دمای 75 درجه سانتی‌گراد

خشک شدند.

برای اندازه‌گیری پ هاش خاک، از تعلیق 2/5: 1 خاک به آب استفاده شد. فسفر قابل جذب به روش اولسن (واتانابه و اولسن، 1965) و فسفر محلول در تعلیق 2/5: 1 خاک به آب مقطر عصاره‌گیری شد (مورفی و ریلی، 1962) . فسفر موجود در بخش‌های مختلف گیاه به روش سوزاندن خشک انجام شد (اسپارکز، 1996). مقدار فسفر در عصاره‌ها به روش اسید اسکوربیک با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 820 نانومتر اندازه‌گیری شد (واتانابه و اولسن، 1965). تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال 5 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر پ‌هاش خاک در مرحله اول نمونه‌برداری در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نشد اما در مراحل دوم و سوم به ترتیب در سطح احتمال1 و 5 درصد معنی‌دار شد (جدول 2). روند تغییرات پ‌هاش در تیمارهای شاهد (C)، کود سوپر فسفات تریپل (P) و سوپرفسفات تریپل مخلوط شده با بیوچار (P+B1) در طول 120 روز تاحدودی مشابه بود (شکل 1).

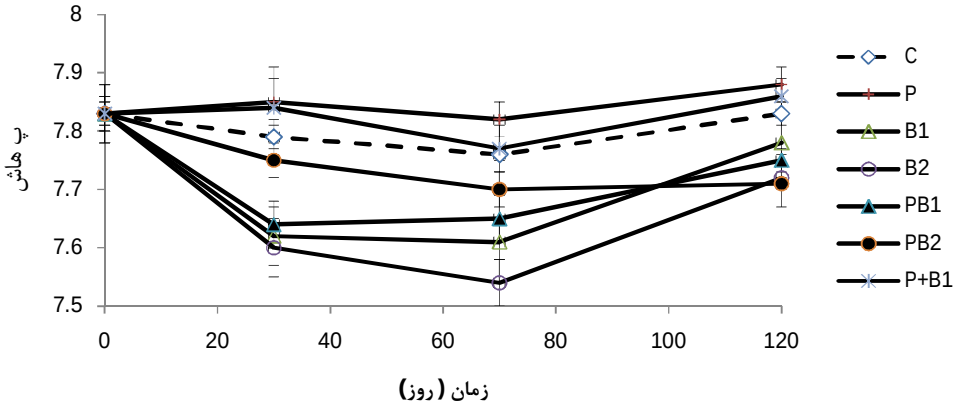
جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پارامترهای شیمیایی خاک در مراحل مختلف نمونه‌برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		pH	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر محلول (میلی‌گرم در لیتر)
مرحله اول نمونه‌برداری				
تکرار	2	0/00	0/002	0/510
تیمار	6	0/031^{ns}	122/6**	0/787ns
خطا	12	0/015	7/50	0/805
ضریب تغییرات (درصد)		1/68	6/02	18/41
مرحله دوم نمونه‌برداری				
تکرار	2	0/002	9/98	0/299
تیمار	6	0/03**	283/7**	23/99**
خطا	12	0/006	27/16	0/416
ضریب تغییرات (درصد)		0/99	13/17	8/57
مرحله سوم نمونه‌برداری				
تکرار	2	0/022	0/045	8/50
تیمار	6	0/043*	412/7**	26/5**
خطا	12	0/012	3/67	4/17
ضریب تغییرات (درصد)		1/38	3/44	24/41

ns،*و ** به ترتیب بدون معنی، معنی دار در سطح 5 و 1 درصد

تیمارهای اسیدی یا بازی داشته حاوی بیوچار (B1, B2) و تیمارهای بیوچار غنی شده با فسفر (PB1, PB2) بیشترین کاهش پ‌هاش خاک را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند، اگر چه پس از 70 روز به‌تدریج پ‌هاش این تیمارها افزایش یافت و به تیمار شاهد نزدیک‌تر شد (شکل1). در پایان 120 روز کم‌ترین پ‌هاش (7/71) مربوط به تیمار PB2 بود که پ‌هاش خاک را نسبت به شاهد 0/12 واحد کاهش داد. بایستی عنوان کرد بیوچار پس از اضافه کردن به خاک خواص متغیری داشته که بستگی به مواد اولیه و شرایط تجزیه دارد و می‌تواند آب‌گریز یا آب‌دوست بوده و خواص باشد و همه این‌ها به اثرات متقابل فاز جامد و فاز مایع بستگی دارد (فارل و همکاران، 2014). کاهش پ‌هاش خاک‌های آهکی در اثر افزودن ترکیبات آلی نظیر بیوچار توسط برخی محققان گزارش شده است (وارناک و همکاران، 2007؛ انیس و همکاران، 2012؛ مارکس و همکاران، 2014). لی و همکاران (2020) نیز در یک آزمایش انکوباسیون به مدت 75 روز، کاهش معنی‌دار پ-هاش را در اثر افزودن 1 درصد وزنی بیوچار بقایای ذرت (تولید شده در دمای 350 و 600 درجه سانتیگراد) مخلوط شده با کود سوپر فسفات تریپل بر روی یک

خاک آهکی مشاهده نمودند. ضیاییان و همکاران (1398) نیز با افزودن 1/5 درصد حجمی بیوچار (حاصل از چوب مرکبات در دمای 550 درجه سانتی‌گراد با پ‌هاش عصاره اشباع 10/4) و کود سوپرفسفات تریپل (در سه سطح 55، 110 و 165 میلیگرم در هر گلدان) به یک خاک آهکی (پ‌هاش عصاره اشباع 7/76) کاهش معنی‌دار پ‌هاش را در هر سه سطح کودی مشاهده نمودند. زلفی باوریانی و همکاران (1395) با تولید بیوچار کود مرغی در دماهای 200، 300 و 400 درجه سانتی‌گراد و افزودن آن به یک خاک آهکی (پ هاش 7/9) در یک آزمایش خوابانـدن دریافتند که بیوچارهای تولید شده در دمای 200 و 400 به ترتیب سبب کاهش و افزایش پ‌هاش خاک شدند، اما روند کاهش پ‌هاش در طول 150 روز دوره خواباندن در همه بیوچارهای تولیدی مشاهده شد. این پژوهشگران کاهش پ‌هاش خاک را در طول زمان به تجزیه ترکیبات موجود در بیوچار و افزایش پ‌هاش خاک را به افزایش نسبی فلزات قلیایی در بیوچار نسبت دادند.

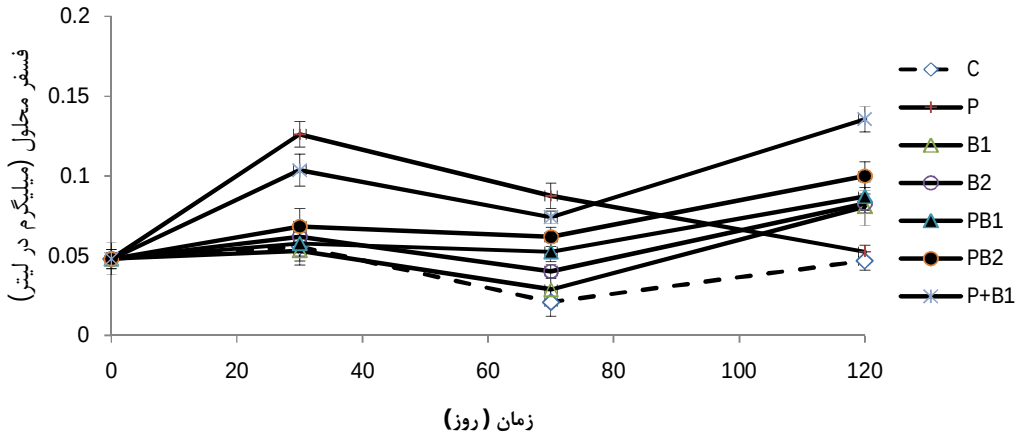


شکل 1- اثر تیمارها بر پ‌هاش خاک در طول زمان. C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار،PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار،PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میل‌خطاها بر روی نمودارها انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد.

در تحقیق حاضر نیز دلیل کاهش بیشتر پ‌هاش خاک در اثر کاربرد بیوچار به تنهایی نسبت به بیوچار غنی شده را می‌توان به وجود مقادیر زیاد فلزات قلیایی نظیر کلسیم در بیوچار غنی شده با کود سوپر فسفات تریپل نسبت داد. نکته دیگر اینکه کاربرد بیوچار (با پ‌هاش 8/02 در تعلیق 1:10 خاک به آب) پ هاش خاک (در گل اشباع 7/89) را تا 0/2 واحد کاهش داد. بایستی متذکر شد که متناسب با افزایش آب خاک، به دلیل اثر رقت یون هیدروژن، پ‌هاش افزایش می‌یابد (اسپارکز، 1996)، لذا در تعلیق‌های کمتر از 1:10 به احتمال زیاد مقدار پ‌هاش کمتر از 8/02 خواهد بود. به هر حال برخی پژوهشگران گزارش کردند که بیوچارها، بسته به نوع مواد اولیه و شرایط حرارت دادن، خاصیت قلیایی داشته که می‌تواند پ‌هاش خاک‌ها را افزایش دهد (متقیان و همکاران، 2019).

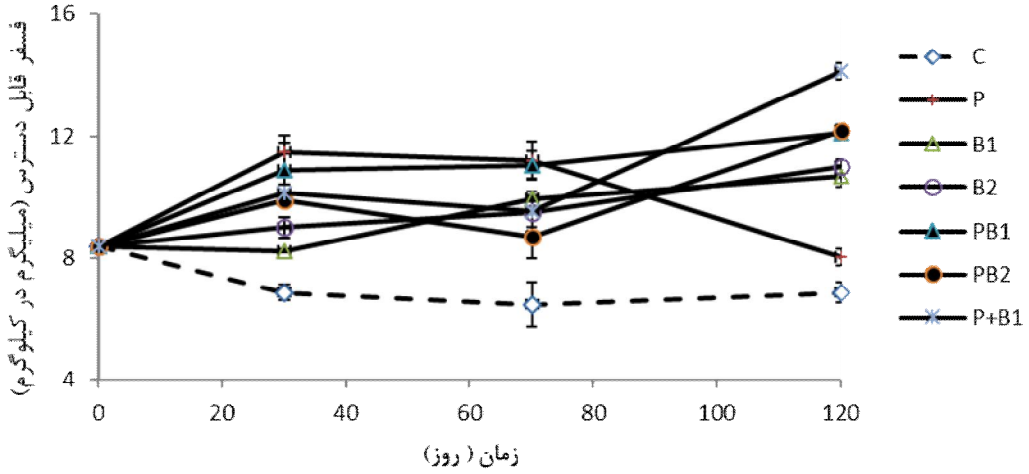
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تنها در زمان-های دوم و سوم نمونه‌برداری فسفر محلول در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). کاربرد بیوچار در همه مقادیر و نیز کاربرد کود فسفر سبب افزایش غلظت فسفر محلول در همه زمان‌های نمونه‌برداری شد (شکل 2). اگر چه بیشترین تاثیر را بر فسفر محلول تیمار کود سوپرفسفات داشت اما به‌تدریج از مقدار آن کاسته شد، به‌طوری که در انتهای زمان 120 روز مقدار فسفر محلول در این تیمار تقریباً با تیمار شاهد برابر شد. سایر تیمارها روند افزایشی غلظت فسفر محلول را با زمان نشان دادند. نتایج موید این مطلب است که کاربرد کود سوپر فسفات توأم با بیوچار باعث می‌شود که غلظت فسفر محلول سریعاً کاهش نیابد و زمان طولانی‌تری نیاز باشد تا با ذرات خاک واکنش داده و رسوب نماید. برخی پژوهشگران اعتقاد دارند که مخلوط کود فسفر و بیوچار می‌تواند به عنوان کود فسفر کندرها در خاک‌های کشاورزی استفاده گردد (ژانگ و همکاران، 2019؛ کیم و همکاران،2018؛ چن و همکاران، 2018). به هر حال نبایستی کاهش پ‌هاش خاک را در اثر تیمارهای مذکور

بر افزایش غلظت فسفر محلول نادیده گرفت. تیمارهایی که کود فسفر دریافت نکردند (B1, B2) عمدتاً از طریق کاهش پ‌هاش خاک سبب افزایش غلظت فسفر محلول شدند. در کل فسفر محلول خاک ارتباط زیادی با پ‌هاش خاک دارند و کاهش پ‌هاش خاک‌های آهکی سبب افزایش غلظت فسفر محلول می‌گردد (افشاری بدرلو و همکاران، 2016؛ احسانی نژاد و همکاران، 1396). بطور کلی بیشترین تاثیر تیمارها بر فسفر محلول تیمار کود فسفر مخلوط شده با بیوچار (P+B1) بوده است.



شکل2- اثر تیمارها بر فسفر محلول خاک در طول زمان.C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار،PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار،PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میل‌خطاها بر روی نمودارها انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد.

مطابق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها تأثیر تیمارها بر فسفر قابل دسترس خاک در همه زمان‌های نمونه برداری در سطح 1 درصد معنی‌دار شد (جدول 2). فسفر قابل دسترس در همه تیمارها و در همه زمان‌های نمونه-برداری نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل 3). بیشترین تأثیر را بر فسفر قابل دسترس تیمار کود سوپرفسفات داشت که در انتهای 120 روز از مقدار آن به‌شدت کاسته شد و به مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار شاهد نزدیک-تر شد. به طور کلی در انتهای 120 روز، تیمارهای P و P+B1 به ترتیب کمترین (20 درصد) و بیشترین (111درصد) افزایش فسفر قابل دسترس را نسبت به شاهد نشان دادند. مطالعات مختلف بر روی بیوچار نشان داده است که این اصلاح‌کننده به‌طور مستقیم و غیر مستقیم بر فراهمی فسفر خاک تأثیر می‌گذارد. علاوه بر آزاد شدن تدریجی فسفر موجود در بیوچار، این ترکیب آلی با اصلاح پ‌هاش خاک و نیز بهبود فعالیت میکروبی در خاک مقدمات افزایش قابلیت دسترسی فسفر را فراهم می‌نماید (اندرسون و همکاران، 2011). برخی پژوهشگران نیز معتقدند که در طی حرارت دادن ترکیبات آلی و تولید بیوچار، ممکن است فسفر موجود در بیوچار به دلیل خروج برخی ترکیبات گازی افزایش یافته و این فسفر به تدریج درخاک آزاد گردد (رحمان و همکاران، 2018، رافیک و همکاران، 2019). ژانگ و همکاران (2019) نیز افزایش فسفر محلول و قابل دسترس خاک را در اثر کاربرد بیوچار بقایای ذرت در طول 56 روز آزمایش انکوباسیون عمدتاً به وجود فسفر غیر آلی محلول و فسفر آلی لبایل (Labile) در بیوچار مورد استفاده نسبت دادند.



شکل3- اثر تیمارها بر فسفر قابل دسترس خاک در طول زمان. C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار،PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار،PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میل‌های خطا بر روی نمودارها انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد.

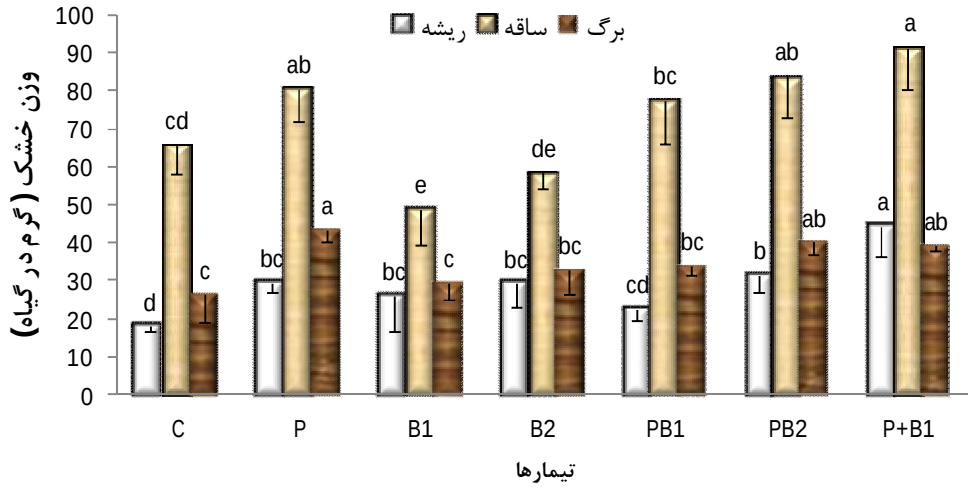
خصوصیات رشدی گیاه ذرت

بر طبق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، اثر تیمارها بر وزن‌های خشک ریشه و ساقه گیاه ذرت در سطح 1 درصد و وزن خشک برگ در سطح 5 درصد معنی‌دار شد (جدول 3). همه تیمارها به جز تیمار PB1 وزن خشک ریشه را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) افزایش دادند که بیشترین افزایش در تیمار P+B1 (حدود 2/5 برابر) مشاهده شد(شکل 4). افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه تنها در تیمارهای P، PB2 و P+B1 مشاهده شد که توانستند وزن خشک ساقه را نسبت به شاهد به ترتیب 22، 27 و 39 درصد افزایش دهند. به هر حال مشخص نیست که چرا تیمار B1 وزن خشک ساقه را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد. تغییرات وزن خشک برگ تا حدودی مشابه با وزن خشک ساقه بود با این تفاوت که تیمار B1 کاهش معنی-داری نسبت به شاهد نداشت.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ویژگی‌های رشدی ذرت

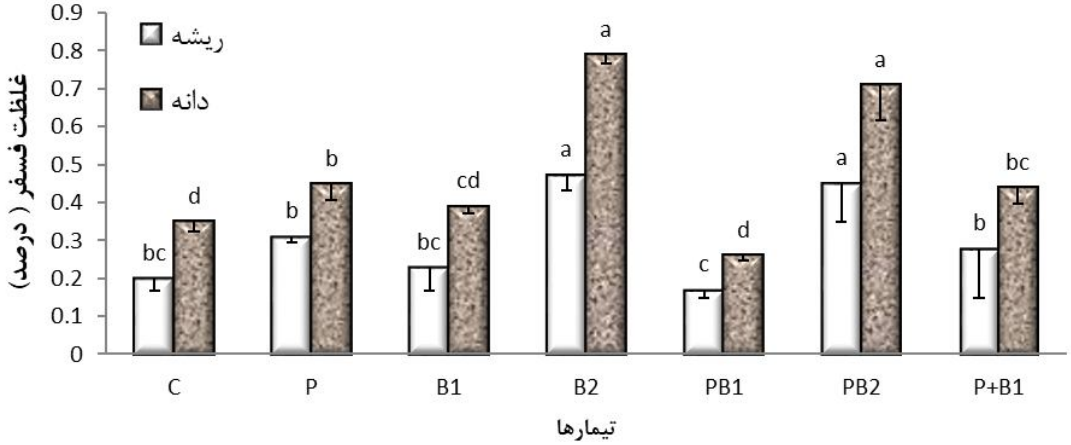
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن خشک (گرم در گیاه)			فسفر (درصد)		عملکرد دانه	وزن صددانه
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	دانه	(تن در هکتار)	(گرم)
تکرار	2	19/09	7/47	53/63	0/010	0/004	58011	602/0
تیمار	6	206/5**	692/1**	112/3*	0/19**	0/07**	952930**	25/5**
خطا	12	15/03	56/02	26/31	0/004	0/001	142203	6/62
ضریب تغییرات (درصد)		13/44	10/35	14/62	16/32	15/25	16/10	7/68

*و ** به ترتیب در سطح 5 و 1 درصد معنی‌دار است



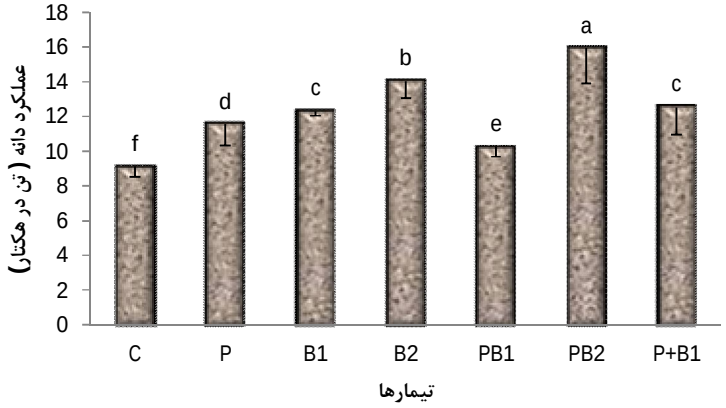
شکل 4- اثر تیمارها بر وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه ذرت.C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار، PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میلخطاها بر روی ستونها به ترتیب انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد. حروف انگلیسی مشترک بر روی ستون‌ها، نشان میدهد که داده‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نیست.

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر تیمارها بر غلظت فسفر ریشه و بذر در سطح 1 درصد معنی‌دار بوده است (جدول 3). تنها مقادیر زیاد بیوچار (B2, PB2) سبب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر ریشه نسبت به شاهد شده است و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداده‌اند (شکل 5). در مورد فسفر بذر بایستی عنوان کرد که تنها تیمارهای P، B2 ، PB2 و P+B1 افزایش معنی‌دار فسفر را نسبت به شاهد نشان می‌دهند. تیمارهایی که بیشترین مقدار بیوچار را داشته‌اند (یعنی B2 و PB2) بیشترین تاثیر را بر فسفر بذر گیاه ذرت (به ترتیب 2/36 و 2/03 برابر افزایش نسبت به شاهد) نشان داده اند، برخلاف اینکه تیمارهای مذکور فسفر محلول و قابل دسترس زیادی نداشته‌اند. این تیمارها همچنین بیشترین رشد ریشه را در بین تیمار داشته‌اند. بخشی از این تغییرات را میتوان به بهبود شرایط تهویه و نفوذپذیری آب و ریشه در داخل خاک در اثر مصرف مقادیر زیاد بیوچار نسبت داد. یکی از ویژگی‌های مهم اضافه کردن بیوچار، جذب بهتر عناصر غذایی از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر کاهش جرم مخصوص ظاهری است(ابریشم‌کش و همکاران، 2015). با استفاده از بیوچار ممکن است به کود فسفر کمتری نیاز باشد. محققان زیادی گزارش کردند که استفاده توأم بیوچار و کود فسفر تأثیر بهتری بر عملکرد و کیفیت محصولات دانه‌ای خواهد داشت (سینگ و همکاران، 2019؛ فهد و همکاران، 2016).

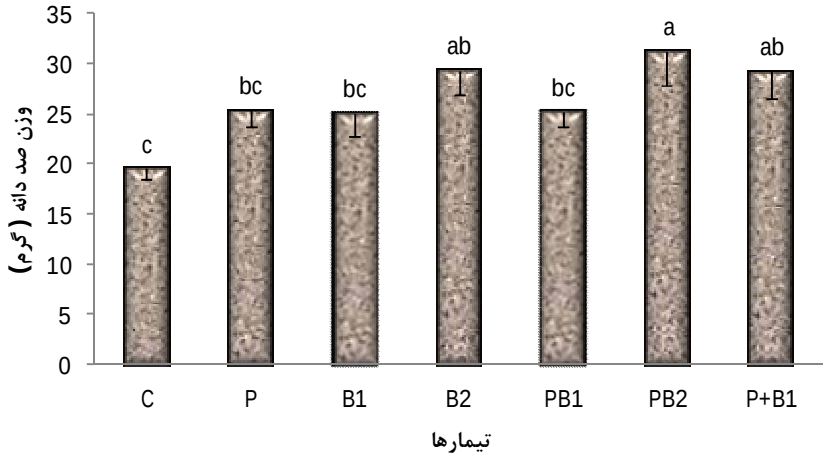


شکل 5- اثر تیمارها بر غلظت فسفر ریشه و دانه گیاه ذرت.C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار،PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار،PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میلخطاها بر روی ستونها به ترتیب انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد. حروف انگلیسی مشترک بر روی ستون‌ها، نشان میدهد که داده‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نیست.

در کل تیمار PB2 و B2 با عملکـرد دانـه‌ای بـه ترتیب 16 و 14/1 تن در هکتار بیشترین افزایش را نسبت به سایر تیمارها نشـان داده اسـت (شـکل 6). ایـن نتـایج بیانگر این واقعیت است که افـزودن ترکیبـات آلـی نظیـر بیوچار نسبت به کودهای فسفر تأثیر بهتـری بـر افـزایش عملکرد گیاهان دارد. تنهـا تیمارهـای B2، PB2 و P+B1 افزایش معنی‌دار وزن صد دانه را نسبت بـه شـاهد نشـان داده است کـه در بـین آنهـا PB2 بهتـرین تیمـار در ایـن خصوص بوده است (شکل 7).



شکل 6- اثر تیمارها بر عملکرد دانه گیاه ذرت.C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار،PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار،PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میلخطاها بر روی ستونها به ترتیب انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد. حروف انگلیسی مشترک بر روی ستون‌ها، نشان میدهد که داده‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نیست.



شکل 7- اثر تیمارها بر وزن صد دانه گیاه ذرت.C: شاهد، P: 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار، B1 و B2: به ترتیب 2 و 4 تن بیوچار در هکتار، PB1: 2 تن بیوچار غنی شده با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار،PB2 : 4 تن بیوچار غنی شده با 700 کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، P+B1: 2 تن بیوچار همراه با 350 کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار. میلخطاها بر روی ستونها به ترتیب انحراف از استاندارد را نشان می‌دهد. حروف انگلیسی مشترک بر روی ستون‌ها، نشان میدهد که داده‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نیست.

تأثیر اضافه کردن بیوچار بر رشد بهتر گیاهان احتمالاً به افزایش توانایی خاک در ذخیره و نگهداری عناصر غذایی ضیاییان و همکاران، 1398)، بهبود شرایط فیزیکی خاک اعم از کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش نفوذپذیری خاک (ابریشم کش و همکاران، 2018) و نیز افزایش فعالیت میکروبی خاک (فارل و همکاران، 2013) مربوط می‌شود(؛). شواهد جمع‌آوری شده از آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان می‌دهد که اضافه کردن بیوچار به خاک‌های فقیر از نظر مواد مغذی به همراه کود، بازده بیشتری نسبت به استفاده از کود یا بیوچار به تنهایی دارد. اثر بیوچار بر رشد محصول بستگی به میزان کاربرد و نوع خاک دارد. بیوچار معمولاً باعث افزایش قابل توجه زیست توده ریشه، ساقه و عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی در ذرت می‌شود (عباس و همکاران، 2010). رحیمی و همکاران (1397) با کاربرد بیوچار به مقدار 2 و 4 درصد وزنی به یک خاک آهکی در شرایط گلخانه‌ای افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام‌های هوایی ذرت، درجه سبزی و شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد مشاهده نمودند. ماجور و همکاران (2010) دریافتند، هنگامی که 23 تن در هکتار بیوچار به خاک‌های کشور کلمبیا اضافه شد میزان زیست توده ذرت بیش از 189 درصد افزایش یافت. عباس و همکاران (2020) در بررسی اثر بیوچار حاصل از باگاس نیشکر به میزان 3 درصد در خاک‌های آلوده به کروم افزایش عملکرد ذرت را گزارش کردند. این افزایش معنی‌دار عملکرد در سایر محصولات نیز مشاهده شده است. به عنوان مثال واکاری و همکاران (2011) در بررسی اثرات کاربرد بیوچار در تولید گندم دوروم در دو سال 2009 و 2010 دریافتند که در هر دو سال با کاربرد بیوچار تولید گندم نسبت به شاهد افزایش یافت. آنها میزان افزایش عملکرد گندم را به خصوصیات خاک و مقدار مصرف بیوچار نسبت دادند. الماروای و همکاران (2020) مشاهده کردند با کاربرد 10 تن در هکتار بیوچار عملکرد گوجه فرنگی حداقل 30 درصد افزایش یافت.

نتیجه گیری

در این تحقیق افزودن بیوچار سبب کاهش پ-هاش خاک زراعی و افزایش فسفر محلول و قابل دسترس گیاه شد. بیشترین تأثیر بیوچار (2 تن در هکتار) بر فسفر محلول، فسفر قابل دسترس، عملکرد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه ذرت زمانی مشاهده شد که با کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل (350 کیلوگرم در هکتار) مخلوط شد. به هرحال تیمارهای 4 تن بیوچار به تنهایی و با 700کیلوگرم سوپرفسفات تریپل بیشترین تأثیر را بر غلظت فسفر ریشه (به ترتیب 125% و 103% نسبت به شاهد) و دانه ذرت (به ترتیب 137% و 125% نسبت به شاهد) و همچنین عملکرد دانه (به ترتیب 54% و 75% نسبت به شاهد) داشتند. نتایج بیانگر این واقعیت است که استفاده از بیوچار در اراضی کشاورزی از طریق بهبود خصوصیات خاک سبب رشد بهتر گیاهان می‌گردد، به-

خصوص هنگامی که با کودهای شیمیایی یا معدنی همراه باشد. تحقیقات بیشتر در زمینه سینتیک رها سازی فسفر موجود در بیوچار حاوی کودهای شیمیایی متداول و نیز تأثیر پارامترهای فیزیکی و بیولوژیکی خاک در اثر کاربرد بیوچار بر رشد گیاهان مختلف ضروری به نظر می‌رسد.

فهرست منابع:

1. احسانی نژاد، آ.، ع. عباس پور و ح.ر. اصغری و ح.ر. صمدلویی. 1396. تأثیر قارچ آسپرژیلوس نایجر و کود سبز بر انحلال فسفر خاک در شرایط انکوباسیون. نشریه آب و خاک 31 (2): 608-597.
2. رحیمی، ط.، ع. معزی و س. حجتی. 1397. اثر مقادیر بیوچار و نیکل بر غلظت نیکل و برخی عناصر کم مصرف در ذرت. نشریه پژوهشهای خاک 32(4): 537-527.
3. زلفی باوریانی، م.ع. رونقی، ن. کریمیان، ر. قاسمی، و ج. یثربی. 1395. اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگیهای شیمیایی یک خاک آهکی. نشریه علوم آب و خاک 75 (20):86-73.
4. ضیائیان، ع.، ا. مرادی، غ. زارعیان و م. حسینی. 1398. نقش تلقیح قارچ میکوریزا و کاربرد بیوچار بر فراهمی فسفر، رشد و عملکرد سورگوم و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. نشریه پژوهش های خاک 33 (4): 484-473.
5. میرباقری، ا.، ع. عباس پور، ع. روحانی، و ه. قربانی. 1391. ارزیابی وضعیت فسفر در برخی مزارع سیب زمینی منطقه مجن در استان سمنان. نشریه پژوهشهای خاک 26(3): 243-235.
6. Abbas, A., Azeem, M., Naveed, M., Latif, A., Bashir, S., Ali, A., Bilal, M., Ali, L., 2020. Synergistic use of biochar and acidified manure for improving growth of maize in chromium contaminated soil. Int. J. Phytoremediation 22, 52–61.
7. Abbaspour, A., Zohrabi, F., Dorostkar, V., Faz, A., Acosta, J.A., 2020. Remediation of an oil-contaminated soil by two native plants treated with biochar and mycorrhizae. J. Environ. Manage. 254, 109755.
8. Abrishamkesh, S., Gorji, M. Asadi, H. Bagheri-Marandi, G.H., Pourbabaee, A.A. 2015. Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth. Plant Soil and Environment 61(11):475-482.
9. Almaroai, Y.A., Eissa, M.A., 2020. Effect of biochar on yield and quality of tomato grown on a metal-contaminated soil. Sci. Hortic. (Amsterdam). 265, 109210.
10. Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A., Sherlock, R.R., 2011. Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. Pedobiologia (Jena). 54, 309–320.
11. Badrloo, T.A., Nobariyan, M.R.S., Bostani, A., Ghorbani, H., Abbaspour, A., 2016. Solubility and phytoavailability of phosphorus and lead in a contaminated soil amended with two phosphorus fertilizers. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 47, 1967–1974.
12. Ball, P.N., MacKenzie, M.D., DeLuca, T.H., Montana, W.E., 2010. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacterial abundance in dry montane forest soils. J. Environ. Qual. 39, 1243–1253.
13. Chen, T., Luo, L., Deng, S., Shi, G., Zhang, S., Zhang, Y., Deng, O., Wang, L., Zhang, J., Wei, L., 2018. Sorption of tetracycline on H3PO4 modified biochar derived from rice straw and swine manure. Bioresour. Technol. 267, 431–437.
14. Cui, H.-J., Wang, M.K., Fu, M.-L., Ci, E., 2011. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. J. Soils Sediments 11: 135-141.
15. Ennis, C.J., Evans, A.G., Islam, M., Ralebitso-Senior, T.K., Senior, E., 2012. Biochar: carbon sequestration, land remediation, and impacts on soil microbiology. Crit. Rev.

Environ. Sci. Technol. 42, 2311–2364.
16. Fahad, S., Hussain, S., Saud, S., Hassan, S., Tanveer, M., Ihsan, M.Z., Shah, A.N., Ullah, A., Khan, F., Ullah, S., 2016. A combined application of biochar and phosphorus alleviates heat-induced adversities on physiological, agronomical and quality attributes of rice. Plant Physiol. Biochem. 103, 191–198.
17. Farrell, M., Kuhn, T.K., Macdonald, L.M., Maddern, T.M., Murphy, D. V, Hall, P.A., Singh, B.P., Baumann, K., Krull, E.S., Baldock, J.A., 2013. Microbial utilisation of biochar-derived carbon. Sci. Total Environ. 465, 288–297.
18. Farrell, M., Macdonald, L.M., Butler, G., Chirino-Valle, I., Condron, L.M., 2014. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. Biol. Fertil. soils 50, 169–178.
19. Gee, G. W., and Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis. In: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, Klute, A. (Ed.). Soil Sci. Soc. Am., and Am. Soc. Agro., Madison, WI. pp. 383-410.
20. Kim, J.A., Vijayaraghavan, K., Reddy, D.H.K., Yun, Y.S., 2018. A phosphorus-enriched biochar fertilizer from bio-fermentation waste: a potential alternative source for phosphorus fertilizers. J. Clean. Prod. 196, 163–171.
21. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota–a review. Soil Biol. Biochem. 43, 1812–1836.
22. Li, H., Li, Y., Xu, Y., Lu, X., 2020. Biochar phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus availability. Chemosphere 244, 125471.
23. Loeppert, R. H., and Suarez, D. L. 1996. Carbonate and gypsum. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods, Sparks, D. L. (Ed.). Soil Sci. Soc. Am. and Am. Soc. Agro., Madison, WI. pp. 437-474.
24. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant Soil 333, 117–128.
25. Marks, E.A.N., Alcañiz, J.M., Domene, X., 2014. Unintended effects of biochars on short-term plant growth in a calcareous soil. Plant Soil 385, 87–105.
26. Motaghian, H., Hosseinpur, A., Safian, M., 2019. The effects of sugarcane-derived biochar on phosphorus release characteristics in a calcareous soil. J. Soil Sci. Plant Nutr. 1–9.
27. Murphy J, Riley JP (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim Acta 27: 31–36
28. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In Sparks, D. L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. 3rd ed. SSSA, ASA Madison, WI. PP: 961-1010
29. Rafique, M., Ortas, I., Rizwan, M., Chaudhary, H.J., Gurmani, A.R., Munis, M.F.H., 2020. Residual effects of biochar and phosphorus on growth and nutrient accumulation by maize (*Zea mays* L.) amended with microbes in texturally different soils. Chemosphere 238, 124710.
30. Rajan S.S.S., Brown, M.W., Boyes, M.K., Upsdell, M.P. 1992. Extractable phosphorus to predict agronomic effectiveness of ground and unground phosphate rocks. Nutr Cycl Agroecosys 32:291–302.
31. Rehman, R.A., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Zafar-ul-Hye, M., Hafeez, F., Iqbal, M.F., 2018. Efficiency of various sewage sludges and their biochars in improving selected soil properties and growth of wheat (Triticum aestivum). J. Environ. Manage. 223, 607–613.
32. Singh, R., Singh, P., Singh, H., Raghubanshi, A.S., 2019. Impact of sole and combined application of biochar, organic and chemical fertilizers on wheat crop yield and water

productivity in a dry tropical agro-ecosystem. Biochar 1, 229–235.
33. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. 1996. Methods of soil analysis. Part 3: chemical methods. Soil Science Society of America, Madison
34. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Sparks, D. L., (Ed.). Soil Science Society of America Journal and American Society Agronomy, Madison, WI. pp. 475-490.
35. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F., 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Eur. J. Agron. 34, 231–238.
36. Vance, C.P., Uhde□Stone, C., Allan, D.L., 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytol. 157, 423–447.
37. Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil–concepts and mechanisms. Plant Soil 300, 9–20.
38. Watanabe, F. R., Olson, S. R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. proc. 29:677-678.
39. Zhang, H., Shao, J., Zhang, S., Zhang, X., Chen, H., 2019. Effect of phosphorus-modified biochars on immobilization of Cu (II), Cd (II), and As (V) in paddy soil. J. Hazard. Mater. 121349.
40. Zhang, X., Li, H., Li, M., Wen, G., Hu, Z., 2019. Influence of individual and combined application of biochar, Bacillus megaterium, and phosphatase on phosphorus availability in calcareous soil. J. Soils Sediments 19, 3688–3698.
41. Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., Xing, B., 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. Geoderma 206, 32–39. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.018

Effect of Rice Bran Biochar, Mixed and Enriched with Triple Superphosphate, on the Availability of Phosphorus and Growth of Corn

H. Keykhosravi, A. Abbaspour[1], and H.R. Asghari

MSc.,Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology; E-mail: hossein.keykhosravi@gmail.com

Associate Professor, Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology; E-mail: abbaspour2008@gmail.com, abbaspour@shahroodut.ac.ir

Associate Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology; E-mail: hamidasghari@gmail.comAbstract

Received: April, 2020 and Accepted: October, 2020

Abstract

Application of organic fertilizers such as biochar is one of the most effective techniques to avoid immobilization of P chemical fertilizers in soils. In order to evaluate the effect of rice bran biochar (produced at 550º C) alone, biochar mixed with P, and that enriched with P on some chemical properties of soil and yield of corn plant, a field experiment was conducted based on a completely randomized design with 7 treatments and 3 replications. The treatments included a control, triple superphosphate (350 kg ha^{-1} TSP), biochar at 2 levels (2 and 4 $t.ha^{-1}$), biochar enriched with TSP (2 and 4 $t.ha^{-1}$ biochar enriched with, respectively, 350 and 700 kg TSP), and 2 ton ha^{-1} biochar mixed with 350 kg TSP. To determine the chemical properties of soil and yield of corn, soil sampling was done three times during the growing season while plants were sampled 120 days after sowing. The results revealed that pH value decrease and soluble and available phosphorus increased in almost all treatments including biochar. The biochar with TSP was the best treatment (soluble and available P increased by 190% and 105%, respectively, compared to the control). Grain yield was the lowest in the control (9.1 $t.ha^{-1}$) and the highest in 4 $t.ha^{-1}$ biochar enriched with TSP (15.9 $t.ha^{-1}$). The treatment including 4 $t.ha^{-1}$ biochar showed the highest P concentration in corn root (0.47%) and grain (0.79%). It is concluded that although TSP alone was able to increase available P in the soil, but its effects will decrease in longer times. Application of biochar mixed with TSP had the best effect on the P availability and its uptake by the plant. In general, for soils with low content of P and organic matter, treatment of 4 $t.ha^{-1}$ biochar enriched with 700 kg TSP is recommended to obtain the highest grain yield. However, environmental issues caused by the overuse of phosphorus fertilizers and the costs imposed on farmers must be considered.

Keywords: Phosphorus uptake, Enriching chemical fertilizer, P-organic fertilizer

[1]. Corresponding author: Water and Soil Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology.