Archive of SID

اثر انواع بیوچار غنی شده و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر فعالیت فسفاتازی و فراهمی فسفر خاک و رشد گندم در خاک شور اطراف دریاچه ارومیه

رقیه موسوی، میر حسن رسولی صدقیانی[1]، ابراهیم سپهر و محسن برین

دانشجوی دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه ارومیه؛ roghayemosavi@yahoo.com

استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه؛ m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه؛ e.sepehr@urmia.ac.ir

استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه؛ barin.mohsen@yahoo.com

دریافت: 98/4/17 و پذیرش: 98/8/29

چکیده

شوری خاک به‌طور منفی بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. با این وجود، پیش بینی می‌شود که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPRs) و استفاده از بقایای گیاهی به‌صورت بیوچار رشد و توسعه گیاه در شرایط تنش‌زا را تسهیل کند. بدین منظور برای ارزیابی تأثیر انواع بیوچار غنی شده و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB) بومی خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه بر فراهمی فسفر این خاک‌ها، آزمایش فاکتوریل گلدانی در قالب طرح کامل تصادفی با دو نوع خاک شور (EC=15) و غیر شور (EC= 2) و انواع بیوچار غنی شده با اسیدفسفریک- سنگ فسفات ($BC-H_3PO_4-RP$)، اسیدکلریدریک-سنگ فسفات (BC-HCl-RP) ، سنگ فسفات - باکتری‌های حل‌کننده فسفات (BC-RP-PSB) و مصرف همزمان بیوچار- سنگ فسفات (BC-RP)، بیوچار – باکتری‌های حل کننده فسفات (BC-PSB)، بیوچار معمولی (BC) و کود فسفاته (TSP) اجرا شد. پس از برداشت گیاه، وزن ماده خشک و غلظت فسفر گیاه، برخی ویژگی‌های شیمیایی نظیر pH، قابلیت هدایت الکتریکی، فسفر اولسن و فعالیت فسفاتاز خاک‌ها اندازه‌گیری شد. در هر دو خاک، بیشترین عملکرد و فسفر گیاه در تیمارهای $BC-H_3PO_4-RP$، BC-HCl-RP و BC-RP-PSB بدست آمد. بیشترین فعالیت فسفاتاز قلیایی در تیمار BC-RP-PSB و فسفاتاز اسیدی در تیمارهای $BC-H_3PO_4-RP$ و BC-HCl-RP اندازه‌گیری شد. برخلاف EC، تیمارهای آزمایش pH خاک‌ها را بطور معنی‌داری کاهش دادند. به‌طوری‌که تیمار $BC-H_3PO_4-RP$ به اندازه 1/1 واحد pH خاک S2 و 0/6 واحد pH خاک S1 و تیمار BC-HCl-RP 0/56 واحد pH خاک S1 و 1/16 واحد pH خاک S2 را کاهش دادند. غلظت فسفر اولسن در تیمار $BC-H_3PO_4-RP$ و BC-HCl-RP برای خاک S1 به‌ترتیب 58/7 و41 میلی‌گرم در کیلوگرم برای خاک S2 67/4 و 38/6 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. نکته جالب توجه اینکه، در هر دو خاک، غلظت فسفر اولسن در تیمارهای بیوچارهای غنی شده بویژه بیوچار غنی‌شده با خاک فسفات و باکتری‌های حل کننده فسفات (BC-RP-PSB) نسبت به تیمار TSP بیشتر بود.این نتایج دور از انتظار بود بدین منظور پیشنهاد می‌گردد برای مقایسه بهتر این کود با TSP و نیل به نتایج کاربردی‌تر، تحقیقات تکمیلی و مطالعات مزرعه‌ای طولانی مدت بیشتری انجام پذیرد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، بیوچار غنی شده، خاک‌های شور، قابلیت دسترسی فسفر، آنزیم فسفاتاز

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

شوری خاک و آب یکی از تنش‌های اصلی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است که به‌طور قابل ملاحظه‌ای اراضی قابل کشت، تولید و کیفیت محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد (شهباز و اشرف، 2013). اثرات مخرب شوری بر رشد گیاه با پتانسیل اسمزی کم محلول خاک (تنش آبی)، عدم تعادل تغذیه‌ای، اثر یون ویژه (تنش شوری) و ترکیب این عوامل در ارتباط است (اشرف، 1994). راهکارهای مدیریتی مختلفی برای بهبود شرایط خاک‌های مسئله‌دار پیشنهاد شده است که استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله بیوچار می‌تواند راهکار نوید بخش برای بهبود خاک‌های مسئله دار و افزایش محصولات کشاورزی باشد (فانگ و همکاران، 2018؛ وو و همکاران، 2017). بیوچار یک ماده جامد، متخلخل و غنی از کربن است که در طی تجزیه‌گرمایی- شیمیایی زیست توده گیاهی تحت شرایط کمبود یا بدون اکسیژن (پیرولیز) تولید می‌شود. و به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی خاک ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها را بهبود داده و باروری و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (سولامان و همکاران 2010، جونز و همکاران، 2012).

افزایش حاصلخیزی خاک در اثر کاربرد بیوچار معمولاً بطور مستقیم با افزایش فراهمی عناصر غذایی خاک مانند کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر و بطور غیرمستقیم با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی از قبیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، افزایش ظرفیت نگهداری آب و موادغذایی، تغییر تنوع و عملکرد جامعه میکروبی خاک و افزایش pH برای خاک‌های اسیدی مرتبط است (گویلی و همکاران، 1396).

مطالعات اخیر، عمدتاً به تأثیر بیوچار در افزایش محصولات زراعی و برهمکنش بین بیوچار و اجزاء خاک یا آلاینده‌ها پرداخته‌اند (سوهی و همکاران، 2010). مطالعه اثر بیوچار در اصلاح خاک‌های شور و افزایش رشد گیاه در این خاک‌ها به‌طور قابل توجه نادیده گرفته شده است. استفاده از مواد آلی برای اصلاح خاک‌های شور یا سدیمی با تسریع آبشویی سدیم و کاهش ESP و EC باعث افزایش نفوذ و ظرفیت نگهداشت آب و پایداری خاکدانه می‌شود (قدیر و همکاران، 2001). این استراتژی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با محتوای ماده آلی کم همچون کشور ایران اهمیت ویژه‌ای دارد. کاهش تنش شوری در خاک‌های شور و سدیمی و بهبود رشد گیاه در اثر استفاده از بیوچار به‌طور مستقیم از طریق آزادسازی عناصر غذایی ضروری گیاه (K، Ca، Mg ، Mn، Cu و Zn) و جذب سطحی سدیم (Na) بـر سطـح بیوچار و اشغال سدیم در منافذ ساختار بیوچار و به‌طور غیر مستقیم از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله افزایش فراهمی آب و فعالیت میکروبی در ارتباط است (داهلاوی و همکاران، 2018). در فرایند پیرولیز، فسفر بافت گیاهی در دمای بیش از 700 درجه سانتیگراد از ساختار مواد خام آزاد می‌شود. اما در دماهای کم به‌صورت آلی و معدنی در ساختار بیوچار باقی می‌ماند. تبدیل بافت گیاهی به زغال در دمای 400 درجه سانتیگراد منجر به تبدیل فسفر آلی به فسفر معدنی (ارتوفسفات‌ها و پیروفسفات‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و غنی‌سازی بیوچارها از فسفر می‌شود. بنابراین بیوچار می‌تواند به‌عنوان منبع فسفر برای رشد گیاهان در خاک‌ها باشد (ونگ و همکاران، 2012، کیان و همکاران 2013).

بیوچار غنی شده از طریق پوشش ذرات بیوچار با رس، کود دامی و مواد معدنی و حرارت در دمای 200-240 درجه سانتی گراد تولید می‌شود (چیا و همکاران ، 2014). علاوه بر افزایش مقدار کربن آروماتیک محصول نهایی مقدار گروه‌های عاملی اکسیژن دار و مکان‌های اسید و باز لویس نیز افزایش می‌یابد که پتانسیل تشکیل کمپلکس با مواد آلی و معدنی افزایش می‌یابد. در نتیجه ساختار فیزیکی و شیمیایی بیوچار غنی شده ممکن است بسیار نزدیک‌تر به توصیفات لیانگ و همکاران (2006) برای خاک‌های تیره آمازون باشد. بیوچار غنی شده می‌تواند نیمه عمر طولانی تر نسبت به کمپلکس‌های آلی-معدنی بدون بیوچار داشته باشد. نیمه عمر بیش از 100 سال، یک شاخص کیفی بسیار مهم برای بیوچار است که زیاد بودن پایداری بیوچار غنی شده و انتقال پایدار اثرات مفید آن به خاک را تضمین می‌کند. طی 7 سال گذشته، دانشمندان و مهندسین مواد، نتایج مطالعات مربوط به بیوچار قدیمی را با نتایج افزایش کربن از طریق افزودن مواد معدنی نانو و تغییر ویژگی‌های سطح بیوچار با اسیدها به منظور تولید کمپلکس‌های بیوچار- مواد معدنی، تحت کنترل در آورده‌اند (جوزف و همکاران، 2015). نتایج تحقیقات نشان داده افزودن آهن نانو مغناطیس می‌تواند ویژگی‌های بیوچار به‌ویژه آنهایی که در چرخه فسفر دخیل هستند را افزایش دهد (جوزف و همکاران، 2013، چن و همکاران، 2011).

فسفر یک عنصر غذایی محدودکننده رشد گیاه در مناطق متأثر از نمک می‌باشد (حسین و همکاران، 2015). جامعه میکروبی خاک در مدیریت تنش‌های زیستی و غیر زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اخیراً استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه

www.SID.ir

Archive of SID

به عنوان یک جایگزین امیدبخش برای کاهش تنش شوری عنوان شده است (یااو و همکاران 2010). جداسازی ریزجانداران بومی خاک‌های متأثر از نمک و غربالگری آنها بر اساس مقاومت به شوری و ویژگی‌های محرک رشد گیاه از جمله انحلال فسفات‌های نامحلول می‌تواند در انتخاب سریع سویه‌های کارآمد و استفاده به عنوان کود زیستی در شرایط تنش‌زا مفید واقع شود. مطالعات برهمکنش PGPRها با سایر ریزجانداران و تأثیر آنها بر پاسخ فیزیولوژیکی گیاهان تحت رژیم‌های مختلف شوری خاک هنوز در مرحله آغازین می‌باشد. استفاده از مایه تلقیح حل‌کننده های فسفات (PSB)ها و سایر میکروب‌ها به عنوان ابزار بالقوه برای کاهش تنش شوری در محصولات حساس به شوری و توسعه راهکارها برای تسهیل کشاورزی پایدار در اراضی شور مستلزم تحقیقات گسترده در این زمینه است. با توجه به اطلاعات متناقض در مورد اصلاح خاک‌های شور با بیوچار وگسترش شوری در اراضی حوضه دریاچه ارومیه استفاده از روش-های زیستی و اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار بقایای هرس سیب و انگور (به دلیل زیاد بودن سطح باغ‌های سیب و انگور در استان آذربایجان‌غربی) می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش رشد گیاهان در اراضی شور اطراف دریاچه ارومیه باشد. از اینرو این آزمایش گلخانه‌ای به منظور بررسی تغییرات در فعالیت آنزیمی و فراهمی فسفر در پاسخ به کاربرد انواع بیوچار غنی شده، بیوچار معمولی و باکتری‌های حل‌کننده فسفات مقاوم به شوری جدا شده از اراضی شور دریاچه ارومیه طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه کمپلکس‌های مختلف بیوچار

برای تهیه بیوچار از بقایای هرس سیب و انگور استفاده شد. بقایای اولیه بعد از خرد شدن، شسته شده و به مدت 24 ساعت در دمای 75 درجه سانتیگراد داخل آون خشک شد. نمونه‌ها در داخل راکتورهای استیلی ریخته شده و پیرولیز در دمای 350 درجه سانتیگراد درکوره الکتریکی با نرخ افزایش دمایی 9 درجه در دقیقه، به مدت 120 دقیقه انجام شد. سپس کوره با تبادل گرمایی با محیط خنک شد (کیم و همکاران، 2012). در این مطالعه به منظور تغییر ویژگی‌های سطحی بیوچار و تهیه بیوچار غنی شده، از خاک فسفات، اسید فسفریک و اسید کلریدریک استفاده شد. در تهیه تمام کمپلکس‌ها از مخلوط بیوچارهای سیب و انگور با نسبت 1:1 استفاده شد.

برای تهیه کمپلکس بیوچار-خاک فسفات (BC-RP)، مخلوط بیوچار سیب-انگور و خاک فسفات با نسبت 1:4 (1 گرم خاک فسفات یاسوج با 7/5 درصد فسفر به شکل P_2O_5 ، 4 گرم بیوچار) مخلوط شد سپس آب جوش با نسبت 20:6 (20 واحد بیوچار-خاک فسفات، 6 واحد آب جوش) اضافه شد و بمدت 2 ساعت بهم زده شد. مخلوط حاصل بعد از آون-خشک شدن به مدت 24 ساعت در دمای 75 درجه سانتیگراد، داخل راکتور قرار داده شد و در کوره با نرخ افزایش دمایی 9 درجه دردقیقه تا دمای 220 درجه سانتیگراد گرم شد (چیا و همکاران 2014).

برای تهیه بیوچارهای اسیدی از اسید فسفریک و اسید کلریدریک (5/2 نرمالیته) استفاده شد. به منظور تهیه بیوچار- اسید فسفریک ($BC\text{-}H_3PO_4$)، یک واحد مخلوط بیوچار سیب و انگور با یک واحد اسید فسفریک مخلوط شد. بدین ترتیب در تهیه بیوچار- اسیدکلریدریک (BC-HCl)، نیز از نسبت 1:1 مخلوط بیوچار سیب و انگور و اسیدکلریدریک استفاده شد. بعد از 2 ساعت تکان دادن بر روی شیکر، بیوچارهای اسیدی حاصل به‌طور جداگانه به مدت 24 ساعت در دمای 75 درجه سانتیگراد در داخل آون خشک شدند (چیا و همکاران 2014).

برای تهیه کمپلکس بیوچار اسیدی–خاک فسفات ($BC\text{-}H_3PO_4\text{-}RP$ و BC-HCl-RP)، بیوچارهای اسیدی با نسبت 4:1 (4 گرم بیوچار اسیدی، 1 گرم خاک فسفات) مخلوط شدند سپس نسبت 20:6 به مخلوط حاصل آب جوش اضافه شد و بمدت 2 ساعت تکان داده شد، بعد به مدت 24 ساعت در دمای 75 درجه سانتیگراد در داخل آون خشک شدند و در نهایت در کوره با نرخ افزایش دمایی 9 درجه دردقیقه تا دمای 220 درجه سانتیگرادگرم شدند (چیا و همکاران، 2014).

آزمایشات گلخانه‌ای

برای انجام آزمایشات گلخانه‌ای از بین 25 نمونه خاک نمونه‌برداری شده از افق سطحی (0-30cm) اراضی اطراف دریاچه ارومیه، دو نمونه خاک براساس EC و مقدار فسفر قابل جذب انتخاب شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلیمتری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ازجمله بافت خاک به روش هیدرومتری (کلوت، 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصاره گل اشباع خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیوم (چاپمن، 1965)، درصدکربن آلی (نلسون و سامرز، 1982)، کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (نلسون، 1982)، فسفرقابل جذب (اولسن و سامرز، 1982) اندازه‌گیری شدند. برای

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری pH و EC بیوچار از نسبت 1:5 (بیوچار/ آب مقطر دیونیزه) بعد از 30 دقیقه تکان دادن، استفاده شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی از روش جایگزینی آمونیوم استفاده شد (زیانگ و همکاران، 2017). مقادیر کربن، هیدروژن و نیتروژن کل در بیوچار با آنالیز عنصری (ECS 4010 CHNSO Analyzer) اندازه‌گیری شد (جدول 1).

جدول 1- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچارهای مورد استفاده

H %	N %	C %	P ($g\ kg^{-1}$)	CEC ($cmol_+kg^{-1}$)	EC (dSm^{-1})	pH	
3/89	0/7	66	7/2	64/5	1/2	7/6	بیوچار سیب
3/6	0/85	76	12	59	1/6	8/2	بیوچار انگور
4/8	2/5	56	48	-	1/8	5/1	بیوچار اسیدی - H_3PO_4
4/1	1/7	61	24	-	2/1	4/9	بیوچار اسیدی - HCl

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. پژوهش شامل فاکتورهای نوع خاک براساس EC در دو سطح (S2=15 $dS.m^{-1}$,S1=2 $dS.m^{-1}$) و انواع بیوچار معمولی و غنی شده در 9 سطح شامل باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB)، مخلوط بیوچار سیب و انگور با نسبت 1:1 (BC)، مخلوط 1:1 بیوچارها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (BC-PSB)، مصرف توام بیوچار- خاک فسفات (BC-RP)، کمپلکس بیوچار- خاک فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (BC-RP-PSB)، انواع کمپلکس بیوچار اسیدی - خاک فسفات (BC-HCl-RP) و (BC-H_3PO_4-RP)، سوپر تریپل فسفات (TSP) و خاک (بعنوان شاهد) در 3 تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. در هر گلدان سه کیلوگرم خاک هوا خشک توزین و پس از اعمال تیمارها در درون گلدان‌ها ریخته شد. درطول آزمایش رطوبت گلدان‌ها در دامنه 70 درصد ظرفیت زراعی به روش وزنی کنترل شد. مقادیر بیوچارها و کود فسفاته براساس نیاز استاندارد فسفر خاک‌ها اعمال شد. با استفاده از همدمای جذب لانگمویر مقدار فسفر لازم برای رسیدن به غلظت تعادلی 0/3 میلی گرم فسفر بر لیتر به عنوان نیاز استاندارد فسفر (SPR) تعیین شد (هالفورد، 1979). بدین‌طریق SPR خاک S1 معادل 45 و خاک S2 معادل 36 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک بدست آمد. مقدار فسفر انواع کمپلکس‌های بیوچار محاسبه سپس براساس نیاز استاندارد فسفر خاک¬ها، تیمارها مطابق جدول 2 اعمال شد. با توجه به مقدار فسفر کمپلکس‌ها، مقادیر مصرفی این بیوچارها به منظور یکسان نمودن مقدار فسفر اضافه شده متفاوت بودند. بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی مورد نیاز شامل 100میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و پتاسیم به ترتیب از منبع اوره و سولفات پتاسیم،10میلی‌گرم در کیلوگرم، منگنز، روی، آهن و مس به ترتیب از منبع سولفات منگنز، سولفات روی، سکوسترین آهن6% و سولفات مس به مقدار 2 میلی‌گرم درکیلوگرم، بر از منبع اسیدبوریک، به اندازه 1 میلی‌گرم در کیلوگرم قبل از کشت به طور یکسان به تمامی گلدان‌ها اضافه شد.

جدول 2- مقادیر کود فسفاته مصرفی برحسب گرم فسفر در کیلوگرم خاک

تیمارهای آزمایش								
TSP	BC-H_3PO_4-RP	BC-HCl-RP	BC-RP-PSB	BC-RP	BC-PSB	BC	PSB	خاک
0/073	0/83	1/9	1/9	1/9	4/1	4/1	-	S_1
0/06	0/7	1/5	1/5	1/5	3/3	3/3	-	S_2

PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC: بیوچار معمولی سیب-انگور، BC-PSB: مخلوط بیوچارها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-RP: کمپلکس بیوچار-خاک فسفات، BC-RP-PSB: کمپلکس بیوچار-خاک فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-HCl-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، BC-H_3PO_4-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل، S1: خاک با $EC= 2\ dS.m^{-1}$، S2: خاک با $EC=15\ dS.m^{-1}$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- برخی خصوصیات محرک رشد گیاه (PGP) باکتری‌های مورد مطالعه

کد جدایه‌ها	ایندول استیک اسید ($\mu g\ ml^{-1}$)	سیدروفور (mm)	HCN	ESP ($g\ L^{-1}$)	انحلال فسفات	انحلال ترکیبات روی
Pseudomonas aeruginosa	-	+	+	+	+	+
Pseudomonas fluorescens	+	+	+	+	+	+
Stenotrophomonas maltophilia	+	-	-	+	+	+

جدول 4- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این آزمایش

خاک	pH	EC (dSm^{-1})	CEC ($cmol_+kg^{-1}$)	OC %	ESP %	SAR $(meq\ L^{-1})^{0.5}$	CCE %	Sand %	Silt %	Clay %	P-ava ($mg\ kg^{-1}$)
S_1	8/1	2	19/2	0/16	3	2/08	18/5	34	30	36	5
S_2	7/6	15	15/9	0/09	9	6/7	10/5	36	34	30	7

pH : واکنش خاک، EC: قابلیت هدایت الکتریکی بر حسب دسی زیمنس یر متر، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی بر حسب سانتی مول بار مثبت بر کیلوگرم خاک، OC: کربن آلی برحسب درصد، ESP: درصد سدیم تبادلی برحسب ، SAR: نسبت جذب سدیم، CCE: درصد کربنات کلسیم معادل، Sand: درصد شن، Silt: درصد سیلت،Clay: درصد رس، P-ava: فسفر قابل جذب گیاه برحسب میلی‌گرم درکیلو-گرم خاک، S1: خاک با $EC=2\ dS.m^{-1}$، S2: خاک با $EC=15\ dS.m^{-1}$

در این مطالعه از باکتری‌های *Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens* و *Stenotrophomonas maltophilia* که در پژوهش پیشین از خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه جداسازی و براساس خواص محرک رشد گیاه (PGP) شامل تولید ایندول استیک اسید، تولید سیانید هیدروژن، تولید سیدروفور، تولید اگزوپلی ساکاریدها، توانایی انحلال ترکیبات نامحلول روی و توانایی انحلال فسفات‌های نامحلول غربال شده بودند (جدول 3)، استفاده شد. کشت باکتری‌ها بر روی محیط کشت نوترینت براث[1] در دمای 28 درجه سلسیوس درون انکوباتور به مدت 48 ساعت انجام گرفت. قبل از تلقیح، واحد تشکیل دهنده کلونی در هر میلی لیتر (CFU/ml) به 10^8 رسید. دو ساعت قبل از کاشت، بذرها در مایه تلقیح باکتری‌ها خوابانده شد و موقع کاشت یک میلی لیتر از مایه تلقیح در حفره بذرها اضافه شد. تعداد 8 بذر گندم (رقم افق) در گلدان‌های استوانه‌ای از جنس پلی اتیلن به ابعاد 8 سانتی‌متر قطر و 35 سانتی متر ارتفاع کاشته بعد از سبز شدن به 4 گیاه تنک شدند. بعد از60 روز، ماده خشک گیاه در هر گلدان بعد از آون خشک شدن توزین و مقدار فسفر گیاه اندازه گیری شد (مورفی و ریلی، 1962). pH، EC و فسفر قابل جذب خاک گلدان‌ها به روش‌های بیان شده برای خاک اولیه اندازه‌گیری شد.

بعد از برداشت گیاه، یک گرم از خاک مرطوب اطراف سیستم ریشه ای برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم-های فسفاتاز اسیدی و قلیایی مورد استفاده قرار گرفت. فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی پس از اضافه کردن یک میلی لیتر محلول پارانیتروفنیل سدیم فسفات به عنوان سوبسترا در حضور بافر تعدیل‌کننده (pH=11 برای فسفاتاز قلیایی و6/5 =pH برای فسفاتاز اسیدی) با استفاده از روش عیوضی و طباطبایی (1977) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ،مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون LSD درسطح احتمال 5 درصد انجام و برای رسم نمودارها از برنامهٔ اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، هر دو خاک مورد استفاده دارای بافت لوم رسی بودند. میانگین درصد کربنات‌کلسیم معادل در هر دو نمونهٔ خاک بالای10درصد و محدوده pH آنها نیز از 7/6 تا 8/1 متغیر بود. بنابراین، براساس طبقه بندی خاک فائو، خاک S_1 جزء خاک‌های آهکی و خاک S_2 با EC بالای 4 و ESP کمتر از 15 جزء خاک‌های شور طبقه‌بندی می‌شوند (جدول 4).

فعالیت آنزیمی خاک

بر اساس نتایج تجزیهٔ واریانس، اثر اصلی تیمارها، خاک و اثر متقابل آنها بر میزان فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول 5). نتایج مقایسهٔ میانگین (آزمون LSD) نشان داد همه تیمارهای میکروبی و بیوچارهای غنی شده فعالیت آنزیمی

[1] Nutrient Broth

www.SID.ir

Archive of SID

هر دو خاک را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار دادند. در هر دو خاک بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تیمار BC-RP-PSB اندازه‌گیری شد. بین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ناشی از این تیمار با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد وجود داشت. (شکل A 1).

با توجه به اینکه آنزیم فسفاتاز قلیایی تنها توسط ریزجانداران خاک آزاد می‌شود، زیاد بودن فعالیت این آنزیم در تیمارهای میکروبی (BC-RP-PSB، BC-PSB و PSB) برای هر دو خاک را می‌توان احتمالا به افزایش فعالیت باکتری‌های مقاوم به شوری مورد استفاده در این مطالعه و زیست توده میکروبی خاک در پاسخ به ماده آلی افزوده شده نسبت داد. صدقیانی و همکاران (1397) در بررسی تأثیر بیوچار و کمپوست ضایعات هرس و تلقیح میکروبی بر فراهمی فسفر، افزایش 4/48 برابری در میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تیمار مشترک کمپوست و تلقیح باکتریایی نسبت به تیمار تلفیقی شاهد و تلقیح باکتریایی گزارش کردند. افزایش زیست توده میکروبی، افزایش عناصر غذایی و بهبود خصوصیات خاک در پاسخ به مواد آلی افزوده شده را دلیل این افزایش بیان کردند.

جدول 5- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، فسفر اولسن، pH، EC و شاخص‌های رشد گیاه

منابع تغییرات	میانگین مربعات							
	درجه آزادی	فسفاتاز قلیایی	فسفاتاز اسیدی	فسفر اولسن	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	وزن خشک گیاه	فسفر کل گیاه
خاک	1	21808**	14568**	156/1**	6/8**	2283**	5/48**	0/035**
تیمار	8	13858**	20208/5**	1528/8**	1/1**	0/015 ^{ns}	79/7**	0/44**
خاک×تیمار	8	3654/5**	851/4**	40/8**	0/15**	0/012 ^{ns}	4/5**	0/006**
خطا	34	400/7	157/2	13/9	0/01	0/009	0/2	0/001
CV (%)		22	15/3	12	1/3	1/1	8	15/7

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5% و 1% و ns معنی‌دار نیست.

در رابطه با آنزیم فسفاتاز اسیدی، در هر دو خاک بیشترین فعالیت این آنزیم در تیمارهای BC-H_3PO_4-RP و BC-HCl-RP اندازه‌گیری شد. همچنین در خاک S1 تیمارهای TSP و BC-RP-PSB در سطح یکسان با تیمار BC-HCl-RP قرار گرفتند (شکل B 1). با توجه به نقش کلیدی pH خاک در پایداری و حداکثر فعالیت فسفاتازها (فسفاتاز قلیایی در pH=11 و فسفاتاز اسیدی در pH= 7) (طباطبائی، 1994)، شاید کاهش pH خاک‌ها توسط انواع بیوچارهای غنی شده (جدول 6) دلیل این امر باشد. بطورکلی، علیرغم زیاد بودن pH خاک‌های مورد مطالعه، فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در هر دو خاک بیشتر از فعالیت فسفاتاز قلیایی بود. با نتایج مطالعات متعدد مغایرت داشت (افشاری و همکاران، 1396: ونگ و همکاران، 2006).

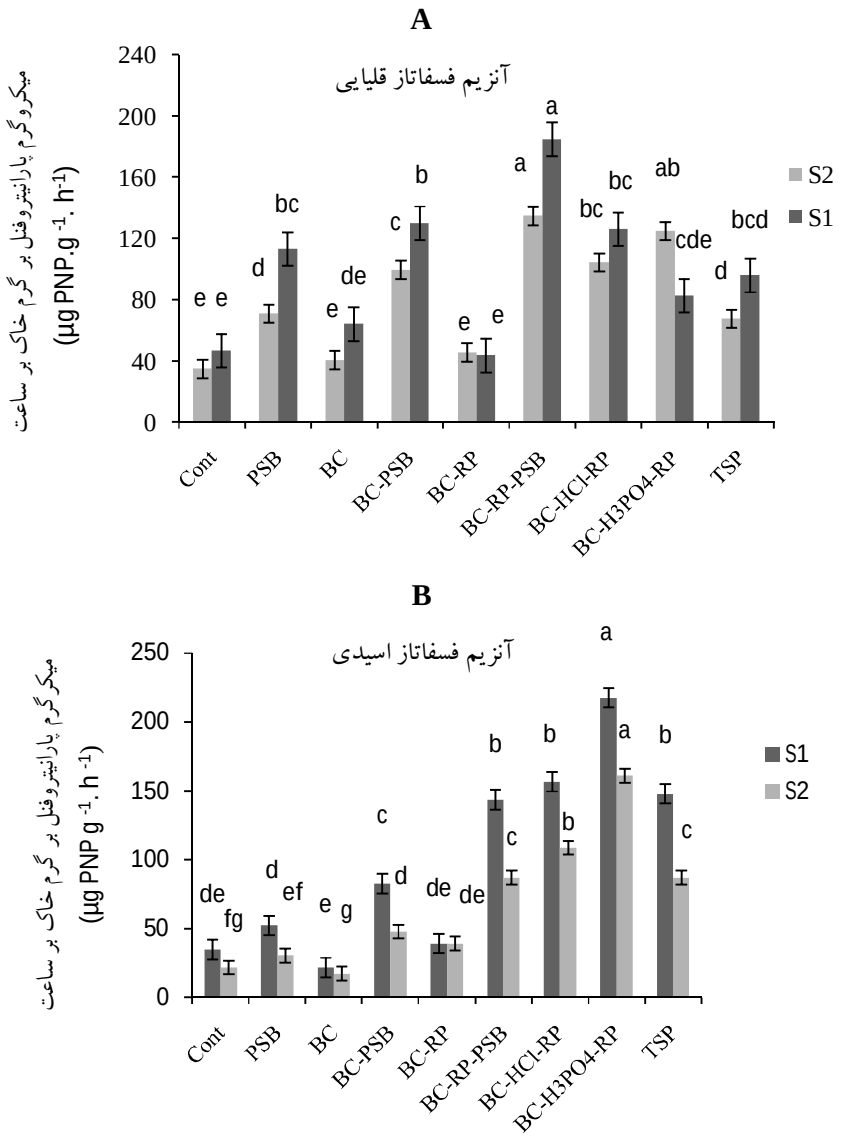
در خاک‌های مورد بررسی، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی در تیمار TSP افزایش معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در مقایسه با شاهد داشت. فعالیت این آنزیم‌ها در تیمار BC-RP نیز از لحاظ آماری در سطح یکسان با شاهد قرار گرفت (شکل 1). فراهمی فسفر در محلول خاک از عوامل کنترل‌کننده در سنتز و آزادسازی فسفاتازها توسط ریزجانداران و گیاهان گزارش شده است. توقف و کاهش محتوای آنزیمی فسفاتازها در خاک با مصرف کودهای معدنی فسفر و افزایش غلظت فسفرمحلول گزارش شده است (نانی پور و همکاران، 2012، گولارات و همکاران، 2008). اما نتایج این پژوهش نشان داد مصرف کود معدنی فسفر تأثیر کاهشی در فعالیت آنزیمی خاک‌ها نداشت. شاید دلیل این امر کم بودن فسفرقابل دسترس در خاک‌های مورد مطالعه و یا کاربرد مقادیر متعادل منابع معدنی فسفات (TSP و RP) باشد. زیرا مطالعات پیشین نیز افزایش فعالیت آنزیمی خاک در اثر کاربرد سطوح متعادل کودهای معدنی را گزارش کرده‌اند (دیک و همکاران، 1994).

بطور کلی، در اغلب مطالعات تأثیر مثبت بیوچار بر فلور خاک گزارش شده است (لهمان و جوزف، 2009). بنابراین افزایش فعالیت آنزیمی خاک در اثر کاربرد بیوچار بدیهی است (پازفریر و همکاران، 2012). اما نتایج این تحقیق نشان داد مصرف بیوچار به تنهایی (تیمار BC) تأثیری در محتوای فسفاتاز خاک ها نداشت شاید کم بودن سطح بیوچار مصرفی را بتوان دلیل این امر دانست. مقدار بیوچار مصرفی بر اساس نیاز استاندارد فسفر (SPR)، برای خاک S1 برابر 0/4 درصد، برای خاک S2 معادل 0/32 درصد بود. در مقایسه با سطوح مصرفی

www.SID.ir

Archive of SID

بیوچار در اغلب مطالعات این مقادیر کم بود. Mierzwa و همکاران (2016) نیز در بررسی اثر بیوچار بستر مرغی بر فعالیت آنزیمی خاک و رشد گیاه، تغییری در فعالیت فسفاتاز خاک در نتیجه مصرف بیوچار در مقادیر 2/25 و 5 تن در هکتار مشاهده نکردند. تجادا و همکاران (2006) تأثیر مواد آلی در افزایش فعالیت فسفاتازی خاک‌ها را افزایش رشد گیاه، میزان ترشحات ریشه‌ای و از طرف دیگر افزایش جمعیت و فعالیت بیوماس میکروبی در نتیجه افزایش دسترسی کربن و مواد مغذی و افزایش ظرفیت جذب خاک عنوان نمودند.



شکل 1- اثر متقابل تیمارهای آزمایش و نوع خاک بر فعالیت فسفاتاز قلیایی (A) و اسیدی (B) خاک‌ها. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت آماری معنی‌دار با آزمون LSD (P<0.01)است. PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC: بیوچار معمولی سیب-انگور، BC-PSB: مخلوط بیوچارها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-RP: مصرف توام بیوچار-خاک فسفات، BC-RP-PSB: کمپلکس بیوچار-خاک فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-HCl-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، BC-H_3PO_4-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل ، S1: خاک با EC= 2 dS m^{-1}، S2: خاک با EC=15 dS m^{-1}

در تیمارهای آلی و میکروبی (BC-H_3PO_4-RP ، BC-HCl-RP و BC-RPPSB) نیز با وجود بالا بودن سطح فسفر قابل دسترس و علیرغم وجود رابطه خطی معکوس بین غلظت فسفات در محلول خاک و فعالیت فسفاتاز (کیس و همکاران، 1974)، بیشترین فعالیت فسفاتاز خاک‌ها در این تیمارها اندازه‌گیری شد. در خاک

www.SID.ir

Archive of SID

S2 بر خلاف خاک S1، بیشترین فعالیت فسفاتاز قلیایی در تیمارهای BC-RP-PSB و $BC-H_3PO_4$-RP اندازه-گیری شد. این مطلب می‌تواند نشان دهنده رفتار متفاوت یک نوع کمپلکس بیوچار در خاک‌های مختلف باشد. از طرفی تاثیر ماده آلی به سبب کربن در دسترس بیشتر به دلیل حضور بیوچار در ساختار این کمپلکس برای ریزجانداران خاک و افزایش فعالیت آنزیمی خاک باشد.کم بودن فعالیت آنزیم فسفاتاز در تیمار TSP نسبت به این تیمارها نیز حاکی از تبعیت این آنزیم از ماده آلی خاک می باشد که سبب افزایش فعالیت ریزجانداران و محتوای آنزیمی خاک می‌شود.

در این پژوهش، شوری فعالیت آنزیمی را بطور معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد کاهش داد. از آنجایی که عامل شوری علاوه بر رشد گیاه، نوع و ترکیب ریزجانداران خاک را نیز تغییر می‌دهد از اینرو می‌تواند فعالیت فسفاتاز خاک را نیز تحت تأثیر قرار دهد (ساریخانی و همکاران، 1394). بنابراین کم بودن فعالیت فسفاتاز در خاک S2 با قابلیت هدایت الکتریکی 15 دسی زیمنس بر متر به دلیل شوری زیاد قابل توجیه است. با توجه به نتایج، شوری فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی را در مقایسه با فسفاتاز قلیایی بیشتر کاهش داد. احتمالاً دلیل آن اثر شوری بر رشد گیاه باشد. زیرا گیاهان تنها توانایی آزادسازی آنزیم فسفاتاز اسیدی را دارا هستند. در حالی که ریزجانداران می‌توانند فسفاتاز اسیدی و قلیایی را تولید کنند. همچنین کاهش بیشتر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در مقایسه با فسفاتاز قلیایی، احتمالاً به دلیل آن است که pH بهینه برای این آنزیم اسیدی است در حالی که خاک شور در این پژوهش دارای pH= 7/6 بود.

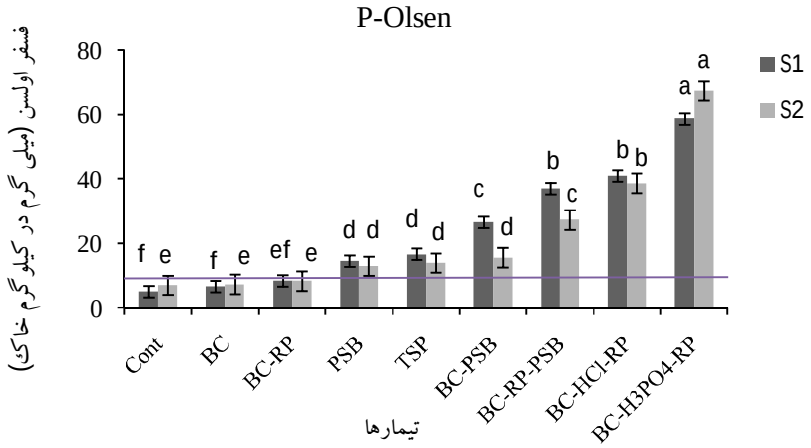
فراهمی فسفر، pH و قابلیت هدایت الکتریکی

فراهمی فسفر خاک بطور معنی‌دار ($P<0.01$) تحت تأثیر اثر اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایش (انواع تیمارها و نوع خاک) قرارگرفت (جدول 5). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین غلظت فسفر قابل جذب در تیمارهای $BC-H_3PO_4$-RP و HCl- BC- RP بدست آمد و تفاوت معنی‌دار با بقیه تیمارها و شاهد داشت (شکل 2). فسفر اولسن در تیمار $BC-H_3PO_4$-RP و BC-HCl-RP برای خاک S1 بترتیب 58/7 و41 (mg/kg) برای خاک S2 بترتیب 67/4 و 38/6 (mg/kg) اندازه‌گیری شد. در خاک S1 غلظت فسفر در تیمارهای $BC-H_3PO_4$-RP و BC-HCl-RP بترتیب 11/7 و 8/2 برابر افزایش در خاک S2 9/6 و 5/5 برابر افزایش نسبت به تیمار شاهد داشتند. افزایش قابل توجه مقدار فسفر قابل جذب در این تیمارها احتمالاً به دلیل pH کم این تیمارها به دلیل اسید موجود در ساختار کمپلکس‌ها و زیاد بودن فسفر در ساختار این کمپلکس‌ها باشد. علاوه بر این، اسیدی بودن ساختار این کمپلکس‌ها با انحلال خاکستر بیوچار و انحلال خاک فسفات سبب افزایش فسفر قابل جذب خاک شده است.

زیا و همکاران (2015) در بررسی اثرات کوتاه مدت بیوچار بقایای ذرت بر قابلیت فراهمی فسفر در دو نوع خاک با ظرفیت جذب فسفر متفاوت، اثر بیوچار (2 تا 8 درصد) در افزایش مقدار فسفر قابل جذب هر دو خاک را مشابه با کاربرد کود فسفاته KH_2PO_4 به میزان 118 کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. تأثیر کاربرد مقادیر مشابه بیوچار بقایای ذرت شسته شده با HCl یک مولار در غلظت فسفر اولسن خاک ها را ناچیز بیان کردند. مقدار فسفر کل بیوچار شسته شده با اسید (0/94 گرم فسفر در کیلوگرم) در مقایسه با بیوچار معمولی ذرت (3/31 گرم فسفر در کیلوگرم) را نسبتاً کم بیان کردند. با توجه به این واقعیت، آنها تأثیر بیوچار در افزایش فسفر خاک را به طور عمده به خاکستر بیوچار نسبت دادند. فسفر خاکستر بخش عمده (77%) فسفر کل بیوچار را تشکیل می‌دهد که شست و شوی بیوچار با اسید به طور قابل توجه فسفر بیوچار را کاهش می‌دهد. بنابراین استفاده از بیوچار شسته شده با اسید تأثیری در افزایش فراهمی فسفر نداشت. اما کاربرد بیوچار معمولی به منظور بهبود قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های با ظرفیت جذب فسفر کم توصیه شد (اندرسون و همکاران، 2011، لهمان و همکاران، 2011).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 2- اثر متقابل تیمارهای آزمایش و نوع خاک بر فسفر اولسن خاک ها. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔتفاوت آماری معنی‌دار با آزمون LSD (P<0.01)است.PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC: بیوچار معمولی سیب-انگور، BC-PSB: مخلوط بیوچارها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-RP: مصرف توام بیوچار-خاک فسفات، BC-RP-PSB: کمپلکس بیوچار-خاک فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-HCl-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، BC-H_3PO_4-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل ، S1: خاک با $EC= 2\ dS\ m^{-1}$، S2: خاک با $EC=15\ dS\ m^{-1}$؛ خط افقی متوسط مقدار بهینه فسفر اولسن برای رشد گیاه (15 میلی‌گرم در کیلوگرم) (شهبازی و بشارتی، 1392)

در هر دو خاک، غلظت فسفر قابل جذب در تیمار BC-RP-PSB نسبت به تیمار TSPبیشتر بود (جدول 6). به‌عبارتی کاربرد بیوچار غنی شده با خاک فسفات و باکتری های حل کننده فسفات (BC-RP-PSB) در افزایش فسفر قابل جذب خاک مؤثرتر از کود شیمیایی فسفاته (TSP) بود. دلیل احتمال این امر در مطالعات متعدد تنظیم pH خاک، افزایش نمایی مقدار رطوبت خاک به دلیل افزایش تخلخل خاک پس از کاربرد مواد آلی (بیوچار و کمپوست) و ایجاد شرایط مطلوب برای فعالیت میکروبی و متعاقبا آزادسازی فسفر در طول معدنی شدن مواد آلی ذکر شده است (واتزینگر و همکاران، 2014، اندرسون و همکاران 2011، لیو و همکاران، 2017). بر اساس نتایج، بالا بودن فسفر اولسن در تیمارهای میکروبی بؤیژه در تیمار بیوچار غنی شده با سنگ فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (BC-RP-PSB) نسبت به تیمارTSP دور از انتظار بود (شکل 2). گرچه تیمار TSP نسبت به شاهد، BC-RP و BC کارآمدتر بود ولی توانایی تیمارهای میکروبی بؤیژه تیمار BC-RP-PSB در افزایش فراهمی فسفر را باید در اثرات چندگانه آنها جستجو کرد. زیرا باکتری‌های استفاده شده در مطالعه حاضر جز باکترهای ریزوسفری محرک رشد گیاه بودند که علاوه بر توانایی بالا در انحلال و آزادسازی فسفر از منابع نامحلول آلی و معدنی، دارای ویژگی‌های تحریک کنندگی رشد گیاه بودند که می‌تواند ترشحات ریشه‌ای گیاه را نیز بهبود بخشد. از طرفی در معرض قرارگرفتن سنگ فسفات در دمای 220 درجه سانتیگراد در طی فرایند غنی سازی احتمالاً در آزادسازی فسفر از سنگ فسفات نیز مؤثر واقع شده است. در پژوهش انجام گرفته توسط خوشرو و همکاران (1398) نیز اثر تیمارهای کودی- میکروبی (باکتری-خاک فسفات-گوگرد- باگاس) بر غلظت فسفر و شاخص‌های تغذیه‌ای گیاه ذرت کارآمدتر از کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل گزارش شده است. از طرفی با توجه به کاهش 50 درصدی مصرف کودهای شیمیایی فسفات بدون کاهش عملکرد گیاه در اثر تلقیح حل کننده-های فسفات در اغلب مطالعات (صادقی و همکاران، 2015: بلند نظر و خرسندی ، 2014: کابلو و همکاران، 2005) می توان گفت غنی‌سازی بیوچار با سنگ فسفات و باکتری‌هایحل کننده فسفات فرصت بهره‌برداری از پتانسیل هم افزایی آنها که تأثیر مثبت بر کیفیت خاک دارد را بوجود می‌آورد و با انحلال و آزادسازی تدریجی فسفر از خاک فسفات کارآمدتر از یک کود فسفاته عمل کرده و سبب افزایش غلظت فسفر در خاک می‌شود. البته این موضوع بایستی در آزمایشات مزرعه ای بیشتری بررسی شود. مصرف باهم باکتری‌های حل کننده فسفات و بیوچار (BC-PSB)نیز به اندازه تیمار TSP (کود شیمیایی فسفاته) در افزایش غلظت فسفر اولسن هر دو خاک مؤثر

www.SID.ir

Archive of SID

بود (شکل 2). اما استفاده منفرد باکتری‌ها (PSB) و بیوچار (BC) به اندازه مصرف با هم آنها در افزایش غلظت فسفر مؤثر نبود، بنابراین می توان گفت بیوچار در تحریک فعالیت باکتری‌های حل کننده فسفات نقش دارد. باکتری‌های استفاده شده در این پژوهش، جزء باکتری‌های PGPR مقاوم به شوری بودند که در پژوهش پیشین توانایی تولید اگزو پلی ساکارید(EPS[1]) آنها تعیین شده بود. باکتری‌های PGPRمولد اگزوپلی ساکاریدها با تثبیت سدیم و کاهش جذب آن توسط گیاه، کاهش غلظت سدیم در آوند چوبی و حفظ تعادل عناصر غذایی در گیاه، رشد گیاه را در خاک‌های متأثر از نمک افزایش می‌دهند (اختر، 2015، اشرف و هریس، 2004).

pH خاک نقش قابل توجهی در کنترل حلالیت و قابلیت دسترسی عناصر غذایی گیاه دارد (نادو و رنگاسمی، 1993). تأثیر بیوچار در pH و EC خاک به مواد خام اولیه، درجه حرارت تولید و مقدار بیوچار مصرفی بستگی دارد (لهمان و جوزف، 2015). نتایج اندازه‌گیری pH خاک پس از برداشت گیاه نشان داد تیمارهای آزمایش pH خاک را بطور معنی‌دار ($P< 0.01$) تحت تأثیر قرار دادند. در خاک S1 به استثناء تیمارهای BC ، BC-RP و TSP که تأثیری در کاهش pH خاک نداشتند، سایر تیمارها pH خاک را به‌طور معنی‌دار کاهش دادند. بیشترین کاهش در pH خاک‌ها، توسط تیمارهای $BC-H_3PO_4-RP$ و BC-HCl-RP اتفاق افتاد. به‌طوری‌که تیمار $BC-H_3PO_4-RP$ به اندازه 1/1 واحد pH خاک S2 و به اندازه 0/6 واحد pH خاک S1 و تیمار BC-HCl-RP به اندازه 0/56 واحد pH خاک S1 و به اندازه 1/16 واحد pH خاک S2 را کاهش داد.

در مطالعات متعدد دلیل افزایش pH و EC خاک در اثر کاربرد بیوچار به خاکستر بیوچار که حاوی کربنات‌های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی، مقادیر متغیر سیلیس، فلزات سنگین، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، فسفات‌ها و مقدار کمی ازت آلی و غیر آلی است، و از طرفی دیگر به سطح ویژه زیاد و ماهیت منافذ بیوچار در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک نسبت داده شده است (رایسن،1979، آرکنا و اوپیو، 2003). لهمان و جوزف (2015) با مقایسه اثر بیوچارهای تولید شده از چوب بلوط، ذرت و بستر مرغی در دماهای 60، 350 و 600 درجه سانتیگراد به این نتیجه رسیدند بیوچارهای تولید شده در دمای 600 درجه سانتیگراد با مقدار خاکستر زیاد بیشترین تأثیر را بر pH خاک داشت. آنان نتیجه گرفتند کاهش pH خاک در اثر کاربرد بیوچار به احتمال زیاد با اکسیداسیون گروه‌های کربوکسیل زغال بیوچار و افزایش pH با انحلال مواد معدنی قلیایی در ارتباط باشد. لیو و همکاران (2017) در بررسی اثر بیوچار پوسته برنج بر فراهمی فسفر، فعالیت فسفاتازی و خواص جامعه باکتریایی سه نوع خاک قرمز، قهوه‌ای و شور، افزایش 0/2-0/1 واحد در pH خاک قرمز با pH اولیه 5/39 ، کاهش معنی‌دار (0/2 واحد) در pH خاک شور با pH اولیه 8/35 و عدم تغییر در pH خاک قهوه‌ای (pH= 7/94) را گزارش کردند. لاشاری و همکاران (2013 و 2014) در بررسی اثر بیوچار و کمپوست بر اراضی شور، کاهش معنی‌دار در pH، مقدار املاح و سدیم و افزایش قابل ملاحظه درکربن آلی و فسفر قابل جذب خاک اصلاح شده با بیوچار و کمپوست را مشاهده کردند و استفاده از بیوچار را به دلیل پتانسیل زیاد در جذب سطحی سدیم و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، به عنوان یک اصلاح کننده آلی در کاهش تنش شوری در خاک‌های متأثر از نمک عنوان کردند.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای آزمایش تأثیری در قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های مورد مطالعه نداشتند (جدول 5). در خاک S1 بیشترین EC در تیمار مصرف کود شیمیایی فسفاته (TSP) اندازه-گیری شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی دار با شاهد داشت. اما تأثیر سایر تیمارها بر EC خاک معنی‌دار نبود (جدول 6). در خاک S2 نیز بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر EC خاک نسبت به شاهد معنی دار نبود. میروا و همکاران (2016) در بررسی اثر بیوچار فضولات مرغی بر فعالیت آنزیمی و رشد گیاه عنوان کردند اتلاف مواد آلی در طی فرایند پیرولیز منجربه افزایش EC و pH بیوچار فضولات مرغی شده است. بیوچار به احتمال زیاد با آزاد سازی ترکیبات قلیایی خاکی عمدتاً کربنات‌ها و کلریدهای کلسیم و منیزیم منجربه کاهش اسیدیته خاک می‌شود.

بر اساس نتایج تجزیهٔ واریانس اثر اصلی خاک، تیمارهای آزمایش و اثر متقابل آنها بر رشد و عملکرد ماده خشک و فسفر کل گیاه معنی‌دار ($P<0.01$) بود (جدول 5). در هر دو خاک بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمار $BC-H_3PO_4-RP$ و کمترین عملکرد آن در تیمار BC بدست آمد که اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشت به‌عبارتی مصرف بیوچار تأثیری در عملکرد ماده خشک گیاه نداشت احتمالاً دلیل این امر کم بودن مقدار بیوچار مصرفی باشد. در اثر کاربرد تیمار BC-HCl-RP در هر دو خاک، ماده خشک گندم نسبت به شاهد بیش از 3 برابر افزایش نشان داد. (شکل 3 و 4). با توجه به ماهیت این

[1] Exsopolysaccharid

www.SID.ir

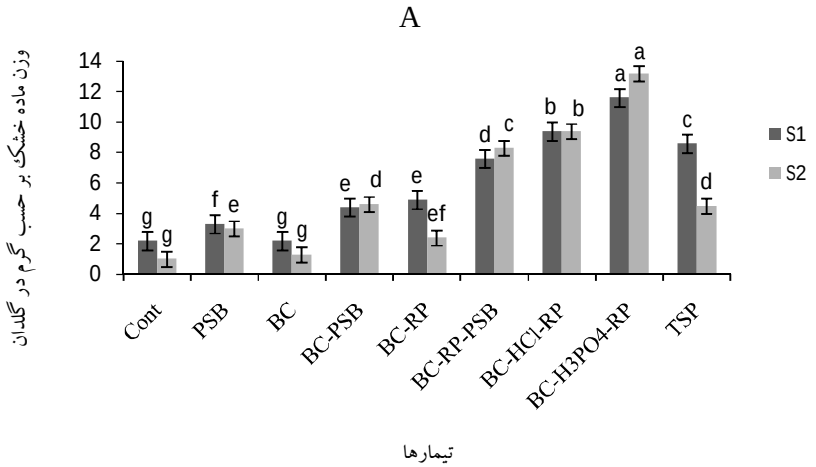
Archive of SID

تیمار در مقایسه با کود سوپر فسفات، این نتیجه دور از انتظار بوده و لازم است در آزمایش های گلدانی و نیز مزرعه ای مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار گیرد. در بعضی مطالعات اثر منفی بیوچار بر عملکرد گیاه در سال اول مصرف گزارش شده است (میجر و همکاران، 2010، گاسکین و همکاران، 2010). در خاک S2 ماده خشک گیاه در تیمار BC-RP-PSB 8/3 گرم بود که با تیمار TSP (4/5 گرم) اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) داشت. این نتایج می‌تواند بیانگر اهمیت مصرف توامان باکتری‌های PGPR و ماده آلی در بهبود شرایط رشد گیاه در خاک‌های شور باشد. تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد به منظور تفسیر چگونگی عکس‌العمل گونه‌های گیاهی به شرایط محیطی حائز اهمیت زیادی است (لباسچی و همکاران، 2004). در این راستا میزان ماده‌ی خشک گیاه به‌دلیل اهمیت اقتصادی بیشتر به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده در افزایش عملکرد محسوب می‌شود. بنابراین هر عاملی که بتواند رشد گیاه را بهبود بخشد می‌تواند منجر به افزایش ماده خشک گیاه گردد که اثر تیمارهای آزمایش در افزایش رشد گیاه در شکل 4 مشهود است.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های مورد مطالعه بعد از برداشت گندم

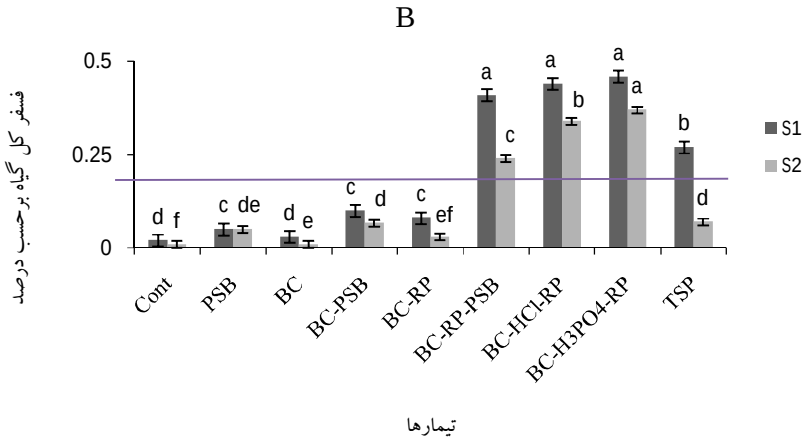
خاک S2		خاک S1		
pH	EC	pH	EC	تیمارهای آزمایش
7/5ab	15 ab	8/1ab	2b	Cont
7 /4b	14/9bc	7/9c	2b	PSB
7/6a	15 ab	8/1b	2/1b	BC
7/4b	14/9bc	7/8 c	2b	BC-PSB
7/6a	15 ab	8/06b	2b	BC-RP
7/1c	15 ab	7/8c	2b	BC-RP-PSB
6/4d	15 ab	7/5 d	2b	BC-HCl-RP
6/34d	15/1 a	7/54 d	2b	BC-H_3PO_4-RP
7/5ab	15/1 a	8/2 a	2/16a	TSP
0/2	0/17	0/11	0/13	LSD
4/6	2	3	4	CV (%)

PSB: باکتری‌های حل کننده فسفات، BC: بیوچار معمولی سیب-انگور، BC-PSB: مخلوط بیوچارها و باکتری‌های حل کننده فسفات، BC-RP: مصرف توام بیوچار-خاک فسفات، BC-RP-PSB: کمپلکس بیوچار-خاک فسفات و باکتری‌های حل کننده فسفات، BC-HCl-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، BC-H_3PO_4-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل. حروف مشابه عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5 % با آزمون LSD را نشان می‌دهد. S1: خاک با EC= 2 dS m^{-1}، S2: خاک با EC=15 dS m^{-1}



www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3- اثر متقابل تیمارهای آزمایش و نوع خاک بر عملکرد ماده خشک (A) و فسفر کل گیاه (B). حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت آماری معنی‌دار با آزمون LSD ($P<0.01$)است.PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC: بیوچار معمولی سیب-انگور، BC-PSB: مخلوط بیوچارها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-RP: بیوچار-خاک فسفات، BC-RP-PSB: کمپلکس بیوچار-خاک فسفات و باکتری‌های حل-کننده فسفات، BC-HCl-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، BC-H_3PO_4-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل ، S1: خاک با $EC= 2\ dS\ m^{-1}$، S2: خاک با $EC=15\ dS\ m^{-1}$، خط افقی غلظت بهینه فسفر برای گندم (0/25 درصد) (فیضی اصل و بایبوردی، 1384)

نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد در خاک S1، فسفر کل گیاه در تیمارهای BC-H_3PO_4-RP و BC-HCl-RP از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با تیمار BC-RP-PSB نداشت (شکل 3). به نظر می‌رسد بر خلاف تاثیر بارز تیمارهای BC-H_3PO_4-RP و BC-HCl-RP بر افزایش عملکرد ماده خشک گیاه، به دلیل کاهش غلظت فسفر در اندام‌های هوایی احتمالاً به دلیل اثر رقت (dilution effect) جذب کل این عنصر در این تیمارها نسبت به تیمار BC-RP-PSB افزایش معنی‌دار نداشت (شکل 3). اما در خاکS2، فسفر کل گیاه در تیمارهای-BC-H_3PO_4-RP و BC-HCl-RP در سطح آماری بالاتری نسبت به تیمار BC-RP-PSB قرار داشتند و در هر سه تیمار فسفر کل گیاه بیشتر از 0/25 درصد بود (شکل 3). در خاک S1 تیمار TSP فسفر کل گیاه را به بیش از 0/2 درصد رساند و اختلاف معنی‌دار با شاهد و سایر تیمارها داشت. در خاک S2 این تیمار با شاهد و تیمارهایBC و BC-RP اختلاف معنی‌دار داشت ولی در سطح آماری یکسان با تیمارهایPSB و BC-PSB قرار گرفت. شن و همکاران (2016) در بررسی تأثیر بیوچار شاخه‌های کاخ و درخت بید بر زیست فراهمی فسفر در دو خاک با فسفر اولسن کم (4/3 mg/kg) و زیاد (33mg/kg) عنوان کردند بیوچار بید تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش جذب فسفر و عملکرد گیاه لوتوس (*Lotus pedunculatus*) در خاک با فسفر کم داشت. اما مصرف بیوچار تأثیری در عملکرد گیاه و جذب فسفر در خاک با فسفر زیاد نداشت. آنان معتقد بودند اختلاف در تأثیر بیوچارها با محتوای عناصر غذایی و خاکستر بیوچارها در ارتباط است. نتایج مطالعات اخیر حاکی از آن است که اصلاح کننده‌های زغالی با کاهش pH و ظرفیت جذب فسفر و متعاقباً افزایش قابلیت فراهمی فسفر و برخی ریزمغذی‌ها منجر به افزایش عمکلرد گیاه می‌شوند (زیا و همکاران، 2006، انور و همکاران 2004، مورفی و استیون 2010).

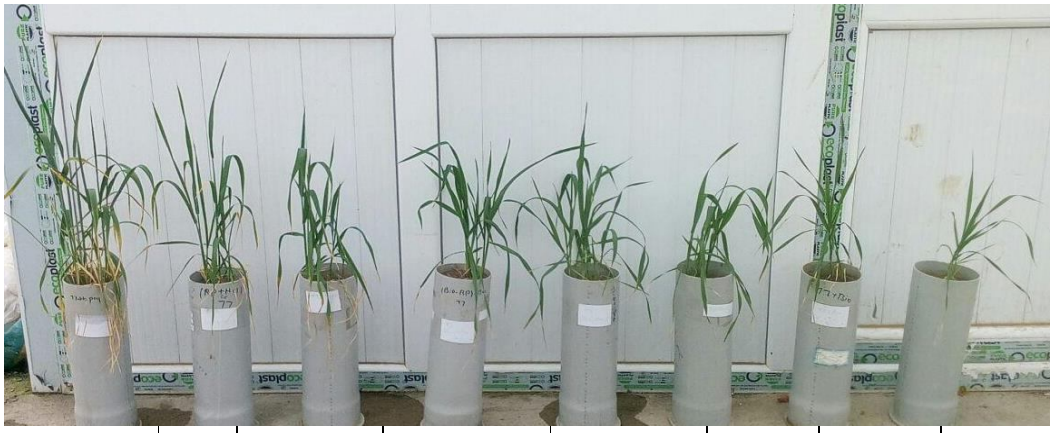
www.SID.ir

Archive of SID

A. خاک S2

BC-H_3PO_4-RP	TSP	BC-HCl-RP	BC-RP-PSB	BC-PSB	PSB	BC	Cont

B. خاک S1



BC-H_3PO_4-RP	TSP	BC-HCl-RP	BC-RP-PSB	BC-PSB	PSB	BC	Cont

شکل 4- تأثیر تیمارهای آزمایش بر رشد گیاه. PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC: بیوچار معمولی سیب-انگور، BC-PSB: مخلوط بیوچارها و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-RP: مصرف توأم بیوچار-خاک فسفات، BC-RP-PSB: کمپلکس بیوچار- خاک فسفات و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، BC-HCl-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، BC-H_3PO_4-RP: کمپلکس بیوچار اسیدی-خاک فسفات، TSP: سوپرفسفات تریپل. A: خاک S2 با قابلیت هدایت الکتریکی 15 دسی زیمنس بر متر. B: خاک S1 با قابلیت هدایت الکتریکی 2 دسی زیمنس بر متر

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر پتانسیل باکتری‌های PSB، انواع بیوچار بقایای سیب و انگور به شکل معمولی و غنی شده به‌عنوان اصلاح کننده خاک برای بهبود فراهمی فسفر در دو خاک شور و غیر شور با فسفرقابل جذب کم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از اثرات مثبت انواع بیوچارهای غنی شده (BC-RP-PSB، BC-H_3PO_4-RP، BC-HCl-RP) در بهبود ویژگی‌های شیمیایی و نیز رشد گیاه گندم در خاک شور و غیر شور بود. علیرغم مصرف بیوچارهای غنی شده در مقادیر کم، تأثیر آنها بر شاخص‌های رشد و عملکرد گندم در هر دو خاک به‌ویژه در خاک شور بارزتر بود. افزایش قابل ملاحظه فسفر قابل جذب گیاه با کاربرد انواع بیوچارهای غنی شده نسبت به تیمار TSP نشان داد که بیوچارهای غنی شده را می‌توان به عنوان یک منبع حاوی فسفر پس از تأیید در آزمایش های مشابه در گلخانه و مزرعه، مد نظر قرار داد. اما جهت نیل به نتایج کاربردی‌تر و معرفی تیمارهای آلی و زیستی مذکور به عنوان جایگزین کود TSP تحقیقات تکمیلی و مطالعات مزرعه‌ای گسترده و

www.SID.ir

Archive of SID

طولانی مدت در شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت پیشنهاد می‌گردد.

فهرست منابع:

1. افشاری، م. رمضانپور، م. ضیاییان، ع.ح. موسوی فضل، م.ه. ذبیحی، ح.ر. 1396. بررسی اثر کاربرد کود شیمیایی و مواد آلی بر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی در برخی از خاک‌های کشور. نشریه زیست شناسی خاک. 5: 175-184
2. خوشرو، ب. ساریخانی، م. ر. علی اصغرزاده، ن. 1398. اثر تلقیح برخی کودهای میکروبی فسفاته بر شاخص‌های تغذیه‌ای گیاه ذرت (*Zea mays L.*). نشریه دانش آب و خاک. 29: 15-27
3. رسولی صدقیانی، م.ح. واحدی، ر. برین، م. 1397. تأثیر بیوچار و کمپوست ضایعات هرس و تلقیح میکروبی بر فراهمی فسفر. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی).4:709-722.
4. فیضی اصل، و. و ا. بابیوردی.1384 .تعیین نرم‌های نظام تلفیقی تشخیص و توصیه (دریس) برای تشخیص وضعیت تغذیه-ای و مطالعه تعادل عناصر غذایی گندم آبی در استان آذربایجان شرقی. مجله علوم زراعی ایران، 4 : 309-298
5. گویلی،ا. موسوی، س ع ا و کامگار حقیقی، ع ا. 1396. ثر بیوچار کود گاوی بر ترکیب شیمیایی اسفناج رشد یافته در وضعیت‌های رطوبتی مختلف در یک خاک آهکی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) 4 : 525-545
6. شهبازی، ک. و ح. بشارتی. 1392. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. 1: 1-15
7. Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants, Crit. Rev. Plant Sci. 13: 17–42.
8. Ashraf, M. P.Harris, 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3–16.
9. Anwar, S.A. M. Ibrahim, M. Ishaq, N. Ahmed. 2004. Use of sulphuric acid on normal calcareous soils. In: Abstracts 10th Int. Congr. Soil Science Society of Pakistan. Tandojam.
10. Arocena, J.M. C. Opio, 2003. Prescribed Fire- Induced Changes in Properties of Sub-Boreal Forest Soils. Geoderma, 113: 1-16.
11. 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 54: 309– 320.
12. Akhtar, S.S. M.N. Andersen, M.Naveed, Z.A. Zahir, F.Liu, 2015. Interactive effect ofbiochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinitystress in maize. Functional. Plant Biology. 42: 770–781.
13. Bailey, V.L. Fansler, S.J. Smith, J.L. Bolton Jr. H.2011. Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. Soil Biology. Biochemistry. 43:296–301.
14. Bolandnazar S, Khorsandi S and Adlipoor M, 2013.The effect of bio-fertilizer (phosphate barvar2) on onion (Allium cepa L.) yield and quality. Journal of Agriculture and Sustainable Production, 24: 19-30.
15. Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. Agronomy 9: 891–901.
16. Cabello M, Irrazabal G, Bucsinszhy AM, Saparrat M and Schalamuck S, 2005. Effect of an arbuscu lar mycorrhizal fungus, G. mosseae and a rocke-phosphate-solubilizing fungus, P.thomii on mentha piperita growth in a soilless medium. Journal of Basic Microbial, 45: 182- 189.
17. Chen, X. G. Chen, L. Chen Y. Chen J. Lehmann, M.B. McBride, A.G. Hay. 2011. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. Bioresource Technology. 102:8877–8884

www.SID.ir

Archive of SID

18. Chia, C. H. B. P. Singh, S. Joseph, E. R. Graber, P. Munroe. 2014. Characterization of an enriched biochar. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 108: 26-34.
19. Dick, W. A. and Tabatabai, M. A. 1994. Significance and potential use of soil enzymes. Soil Microbial Ecology 14: 95-127
20. Dahlawi, S. A.Naeem, Z. Rengel, R.Naidu. 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: challenges and opportunities. Science of the Total Environment. 625: 320–335.
21. Eivazi, F. and Tabatabai, M. 1977. Phosphates in soils. Soil Biology and Biochemistry 9: 167-172
22. Fang, J. L. Zhan, Y.S. Ok, B. Gao. 2018. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 57:15–21.
23. Ghoularata, M. F.Raeisi, H. Nadian. 2008. Salinity and phosphorus interactions on growth yield and nutrient uptake by Berseem. Clover (Trifolium alexandrinum L.). I. Field Crops Research 6: 117-126
24. Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agronomy Journal. 102: 623-633.
25. Halford. I. C. R. (1979). Evaluation of Soil Phosphate Buffering Indices, Australian Journal Soil Research. 17. 495-504 .
26. Hussain, R.A. R. Ahmad, E.A. Waraich, F. Nawaz. 2015. nutrient uptake, water relations, and yield performance of different wheat cultivars (Triticum aestivum L.) under salinity stress. Journal of Plant Nutrition. 38:2139–2149.
27. Lebaschy, M.H. and Sharifi Ashour Abadi, E. 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of Hypericum perforatum. Pajouhesh & Sazandegi J.65:65-75. (In Persian).
28. Liang, B. J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'neill, J. Skjemstad, J. Thies, F. Luizao, J. Petersen. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of American Journal. 70: 1719–1730.
29. Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management- an introduction. In:Lehmann J. and Joseph S. (Eds). Biochar for environmental management: Science and Technology. Earths can, London, pp. 1–11.
30. Lehmann, J. Rillig, M.C. Thies, J. Masiello, C.A. Hockaday,W.C. Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota — a review. Soil Biology and Biochemistry. 43: 1812–1836.
31. Lashari, M.S. Liu, Y. Li, L. Pan, W., Fu, J., Pan, G., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Yu, X., 2013. Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. Field Crops Research. 144: 113–118.
32. Liu, S., Meng, J., Jiang, L., Yang, X., Lan, Y., Cheng, X., Chen, W., 2017. Rice huskbiochar impacts soil phosphorous availability, phosphatase activities and bacterial community characteristics in three different soil types. Applied Soil Ecology. 116: 12–22.
33. Jones, D.L. J. Rousk, G. Edwards-Jones, T.H. DeLuca, D.V. Murphy. 2012. Biochar mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. Soil Biology and Biochemistry. 45: 113–124.
34. Joseph SD et al (2010) An investigation into the reactions of biochar in soil. Soil Research. 48:501–515
35. Joseph, S. E. R. .raber, C. Chia, P. Munroe, S. Donne, T. Thomas, S. Nielsen, C. Marjo, H. Rutlidge, G. X. Pan, L. Li, P. Taylor, A. Rawal, J. Hook. 2013. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components, Carbon Manage. 4: 323–343.

www.SID.ir

Archive of SID

36. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. Part I: physical and mineralogical methods. ASA, Inc. SSSA Inc. Madison, Wisconsin USA.
37. Kim, K. H. J. Y. Kim, T. S. Cho, J. W. Choi. 2012. Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (Pinus rigida). Bioresource technology. 118: 158-162.
38. Kiss, S. Stefanic, G. Dragan-Bularda, M. 1974. Soil Enzymology in Romania. II. Contrib. Bot. Clul. 197–207.
39. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In : Page A.L., Miller R.H. , Keeney D.R. (eds), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madis, *WI*, *USA*. pp. 181–197.
40. Nelson, D.W. Sommers, L.E., Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, P.R. 1982. Totalcarbon, organic carbon and organic matter, Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical andmic-obiological properties. Soil Science Society of American. 539-580.
41. Nannipieri P. Giagnoni L. Renella G. Puglisi E. Ceccanti B. Masciandaro G. Fornasier F. Moscatelli M.C.and Marinari S. 2012. Soil enzymology: classical and molecular approaches. Biology and Fertility of Soils. 48:743–762
42. Naidu R. P. Rengasamy. 1993. Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. Australian Journal of Soil Research. 31: 801–819.
43. Murphy J, Riley JD. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta. 27:31-36.
44. Murphy, P.N.C. R.J. Stevens. 2010. Lime and gypsum as source measures to decrease phosphorus loss from soils to water. Water Air and Soil Pollution. 212: 101–111.
45. 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.
46. Olsen, S.R. & Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. p. 403-430. In: A.L. Page, R.H. Miller,and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI
47. Shahbaz, M., M. Ashraf. 2013. Improving salinity tolerance in cereals. Critical Reviews in Plant Science. 32:237–249.
48. Shen, Q. M. Hedley, M. Camps Arbestain, M. U. F. Kirschbaum. 2016. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus?.Journal of soil science and plant nutrition. 16: 268-286.
49. Paz-Ferreiro, J. Gascó, G. Gutiérrez, B. Méndez, A. 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. Biology and Fertility of Soils. 48:511–517.
50. Tabatabai M.A. 1994. Soil enzymes. In: Weaver RW, Angle JS, Bottomley PS (eds) Methods of soil analysis. Part2 – Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, US, 775–833.
51. Tejada, M. Garcia, C. Gonzalez, J.L. Hernandez, M.T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology and Biochemistry. 38:1413-1421.
52. Wu, H.P. C. Lai, G.M. Zeng, J. Liang,J. Chen, J.J. Xu, J. Dai, X.D. Li,J.F. Liu, , M. Chen, L.H. Lu, L. Hu, J. Wan. 2017. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. Critical Reviews and Biotechnology. 37: 754–764.
53. Sohi, S. P. E. Krull, E. Lopez-Capel, R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. Advances in Agronomy. 105: 47-82.

www.SID.ir

Archive of SID

54. Sadeghi S, Heidari GHR and Sohrabi Y, 2015. Effect of biological fertilizer and fertilization management on some growth Indices of two maize varieties. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(3): 43-60.
55. Qadir, M. S. Schubert, A. Ghafoor, G. Murtaza. 2001. Amelioration strategies for sodic soils: A review. Land Degradation and Development. 12: 357–386.
56. Qian, L. B. Chen. 2014. Interactions of aluminum with biochars and oxidized biochars: implications for the biochar aging process. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 62: 373–380.
57. Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformation: A Review. Plant Soil. 51: 73-108.
58. Wang, J. X. Pan, Y. Liu, X. Zhang, Z.Xiong. 2012. Effects of biochar amendment in twosoils on greenhouse gas emissions and crop production. Plant Soil. 360: 287–298.
59. Watzinger A. Feichtmair S. Kitzler B. Zehetner F. Kloss S. Wimmer B. Boltenstern S.Z. and Soja G. 2014. Soil microbial communities responded to biochar application in temperate soils and slowly metabolized 13C-labelled biochar as revealed by 13C PLFA analysis: results from a short term incubation and pot experiment. European Journal of Soil Science 65: 40–51.
60. Xiang. Zhao, Ta Na. Sh, Dong Wang Xu. 2017 Effect of Temperature on the Structural and Physicochemical Properties of Biochar with Apple Tree Branches as Feedstock Material. Energies, 10, 1293;
61. Yao, L.Z. Wu,Y. Zheng,I. Kaleem,C. Li. 2010. Growth promotion and protection against salt stress by Pseudomonas putida Rs-198 on cotton. European Journal of Soil Biology. 46:49–54.
62. Zhai, L. Z., CaiJi, J., Liu, H.Wang , T. Ren, Gai, X. Liu, H. 2015. Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. Biology and Fertility of Soils. 51: 113-122.
63. Zia, M.H. A. Ghafoor, T.H. Saifullah M. Boers. 2006. Comparison of sulphurous acid generator and alternate amendments to improve the quality of saline-sodic water for sustainable rice yields. Paddy Water Environment. 4: 153–162

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Various Enriched Biochars and PSB on Phosphatase Activity, Phosphorus Availability, and Wheat Growth in Saline Soils Around Lake Urmia

R. Mousavi, M. H. Rasouli-Sadaghiani[1], E. Sepehr, and M. Barin

PhD Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran; E-mail: roghayemosavi@yahoo.com

Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran; E-mail: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

Associate Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran; E-mail: e.sepehr@urmia.ac.ir

Assistant Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran; E-mail: barin.mohsen@yahoo.com

Received: July, 2019 and Accepted: November, 2019

Abstract

The productivity of plants is adversely affected by soil salinity. However, it is predicted that plant growth-promoting rhizosphere bacterial (PGPRs) and the use of crop residues as biochar can improve plant growth and development in the presence of salinity and different stresses. A pot experiment was performed in a complete randomized design using two soils with different EC (S1 = 2, S2 = 15 dSm^{-1}). Treatments included different types of enriched biochar (BC) as rock phosphate-biochar (BC-RP), BC-H_3PO_4-RP, BC-HCl-RP, BC-PSB and BC-RP-PSB to assess the effects of apple-grape pruning biochar, enriched biochar, and phosphate-solubilizing bacteria (PSB) isolated from saline soils around Lake Urmia on the phosphorus (P) availability. After harvesting, soil physicochemical properties (pH, EC), P-Olsen, acid, and alkaline phosphatase activities, and plant growth indices were investigated. The results showed that in both soils, the highest alkaline phosphatase activity was in BC-H3PO4-RP and BC-HCl-RP treatments. In both soils, the highest plant dry matter was obtained in BC-H3PO4-RP and the highest plant P in BC-H3PO4-RP, BC-HCl-RP, and BC-RP-PSB treatments. Experimental treatments did not affect the soil EC but significantly reduced the pH of soils. Indeed, BC-H3PO4-RP reduced the pH of S2 and S1 soils by 1.1 and 0.6 units, respectively, while BC-HCl-RP reduced the pH of S1and S2 soils by 0.56 and 1.16 units, respectively. The P-Olsen concentration of S1 soil under BC-H3PO4-RP and BC-HCl-RP treatments were 57.7 and 41 mg $kg^{-1}$and of S2 soil were 67.4 and 38.6 mg kg^{-1}, respectively. Interestingly, in both soils, P-Olsen concentration in BC-RP-PSB treatment was more than TSP treatment, suggesting a remarkable ability of the studied bacteria. Since enriched biochar with various minerals and inoculation with PSBs showed an unexpectedly higher P-Olsen compared to TSP, more field studies are needed for supporting as well as clear understanding of P-enriched biochar potential in different soils and climates.

Keywords: Saline soils, Phosphorus availability, Phosphate-solubilizing bacteria

[1.] Corresponding author: Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran.

www.SID.ir