



اثر فیلترکیک، بیوچار و باکتری‌های محرک رشد به‌عنوان کودهای آلی و زیستی بر برخی شاخص‌های کیفی خاک و رشد گندم

ساحره مطیلجی^۱، احمد لندی^۲ و * رویا زلفی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز،

^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به اثرات نامطلوب کاربرد کودهای شیمیایی در درازمدت و نیز کمبود مواد آلی در خاک‌های ایران، استفاده از کودهای آلی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بسیاری از بقایای گیاهی از جمله ضایعات نیشکر را می‌توان به بیوچار تبدیل کرد و به‌عنوان کود آلی در خاک استفاده نمود. همچنین فیلترکیک از محصولات جانبی تصفیه شکر است که به‌عنوان ماده آلی قابل‌استفاده می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد گندم و بررسی بهترین ترکیب کودهای آلی و باکتری‌های محرک بر رشد گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود آلی در پنج سطح شاهد (Control)، فیلترکیک ۲۰ تن در هکتار (F20)، فیلترکیک ۴۰ تن در هکتار (F40)، بیوچار ۳۶ تن در هکتار (B36)، بیوچار ۷۲ تن در هکتار (B72) و باکتری در سه سطح (شاهد، *Enterobacter Cloacae* و *Paenibacillus Lactis*) صورت گرفت. پس از اعمال تیمارها در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی، تعداد ۱۰ بذر گندم رقم چمران در هر گلدان کشت شد. پس از پر شدن دانه، برداشت گیاه صورت گرفت و پس از شست و شو خشک گردید و وزن خشک دانه و غلظت فسفر در آن اندازه‌گیری شد. خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک نیز شامل تنفس پایه و برانگیخته، کربن آلی خاک، کربن زیتوده میکروبی، کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات، کربن محلول در آب سرد و داغ، EC، pH و فسفر اولسن اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مایه‌زنی باکتری سبب کاهش مقدار هدایت الکتریکی و pH خاک نسبت به تیمارهای بدون باکتری شد. بیش‌ترین مقادیر تنفس پایه (۷۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر روز)، فسفر خاک (۳۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کربن آلی (۱/۱۳ درصد) در تیمار ۴۰ تن در هکتار فیلترکیک مایه‌زنی‌شده با باکتری باسیلوس دیده شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش قابل‌ملاحظه‌ای (به ترتیب ۷۳/۱، ۱۰۸ و ۱۱۸ درصد) داشت. بیش‌ترین مقدار کربن زیتوده میکروبی (۷۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را تیمار ۴۰ تن در هکتار فیلترکیک مایه‌زنی‌شده با باکتری *انتروباکتر* داشت که نسبت به تیمار شاهد بیش از دو برابر افزایش نشان داد. همچنین بیش‌ترین مقدار کربن محلول در آب سرد (۲۷۰۷ میلی‌گرم

* مسئول مکاتبه: r.zalaghi@scu.ac.ir

در کیلوگرم)، کربن محلول در آب داغ (۳۵۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات (۱۷۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار ۷۲ تن در هکتار بیوچار مایه‌زنی‌شده با باکتری *انتروباکتر* بود که به ترتیب ۳۹/۳، ۲۶۳ و ۷۰/۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشتند. بیش‌ترین مقدار وزن خشک دانه (۵/۲۳ گرم در گلدان) و غلظت فسفر دانه (۱/۰۴ درصد) مربوط به تیمار ۴۰ تن در هکتار فیلترکیک مایه‌زنی‌شده با باکتری *باسیلوس* بود که به ترتیب ۴۴/۶ و ۴۳/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت.

نتیجه‌گیری: ویژگی‌های اندازه‌گیری شده به‌ویژه وزن خشک و عملکرد گیاه بیانگر عملکرد بهتر فیلترکیک نسبت به بیوچار می‌باشد. با وجود این‌که بیوچار در مقادیر وزنی بیش‌تری به‌کار برده شد، اما کاربرد فیلترکیک در افزایش فسفر اولسن خاک و کربن آلی خاک مؤثرتر بوده و برای بهبود شاخص‌های کیفی خاک توصیه می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که باکتری *باسیلوس* عملکرد بهتری نسبت به باکتری *انتروباکتر* از خود نشان داده است و به‌طور کلی، نتایج تیمار ۴۰ تن در هکتار فیلترکیک و مایه‌زنی با باکتری *باسیلوس* را توصیه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: باکتری *انتروباکتر*، باکتری *باسیلوس*، خصوصیات بیولوژی خاک، کود آلی، گیاه

مقدمه

استفاده از کودهای شیمیایی در درازمدت اثرات نامطلوب و جانبی به همراه دارد، بنابراین جهت بهبود حاصلخیزی خاک در درازمدت استفاده از کودهای آلی مفید می‌باشد. فیلترکیک یک محصول جانبی صنعت نیشکر است که در طی فرایند رسوب‌گذاری و تصفیه شربت به‌دست می‌آید. ماده آلی موجود در فیلترکیک حدود ۶۴ درصد وزن خشک آن است و یک منبع غنی برای کلسیم است (۱). نتایج مطالعات جان (۱۹۸۹) نشان داد که فیلترکیک را می‌توان به‌عنوان کود آلی به‌کار برد و با افزایش میزان فیلترکیک کاربردی، فسفر قابل‌جذب در خاک افزایش یافت (۲۰).

بیوچار یک ماده جامد حاوی کربن است که در شرایط اکسیژن محدود و در درجه حرارت بالا (بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس) تولید شده که این فرایند تحت عنوان *پیرولیز* شناخته می‌شود و ماده جامد حاصل از آن غنی از کربن می‌باشد (۴۰). بیوچار دوام بیش‌تری در خاک نسبت به بقیه اصلاح‌کننده‌ها دارد (۳۹). نتایج مطالعات ماستو و

همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که افزایش بیوچار منجر به افزایش ۵۰ درصد هدایت الکتریکی خاک، افزایش ۹ درصد pH خاک و همچنین افزایش ۱/۱۷ درصد مواد آلی خاک گردید (۲۵). نیگوسی و همکاران (۲۰۱۲) طی مطالعاتی که بر روی بیوچار انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بیوچار باعث افزایش pH، کربن آلی و هدایت الکتریکی خاک گردید (۳۲).

باکتری‌های محرک رشد (PGPR) باکتری‌های ریزوسفری می‌باشند که رشد و عملکرد گیاه را بهبود داده و می‌توانند تحت شرایط تنش خشکی باعث افزایش ترشح هورمون اکسین و به دنبال آن افزایش سطح مؤثر ریشه گیاهان و در نهایت بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه زراعی می‌شود (۲۱) و (۳۵). *باسیلوس* از جمله باکتری‌های محرک رشد و مقاوم به شوری است که در حضور نمک و یا در غیاب آن می‌تواند تکثیر شده و رشد کند و با تغییر و تحول ماده آلی در خاک بر شاخص‌های میکروبی مؤثر باشد (۳۰). همچنین *انتروباکترها* از باکتری‌های محرک رشد هستند که به‌طور طبیعی در آب، خاک و مواد در حال فساد و تجزیه وجود دارند (۵). مزرعه

برانگیخته نیز همانند تنفس پایه ولی با اضافه نمودن گلوکز به خاک و انکوباسیون به مدت سه روز اندازه‌گیری شد (۲). کربن آلی خاک به روش والکی بلک (۳۱)، کربن زیتوده میکروبی، از روش تدخین با کلروفرم، عصاره‌گیری با سولفات پتاسیم و قرائت به روش والکی بلک (۱۹)، کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات پتاسیم (با استفاده از محلول ۰/۰۵ مولار پرمنگنات پتاسیم و قرائت با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر (۱۱) اندازه‌گیری شد. کربن محلول در آب سرد (مخلوط خاک با آب در دمای اتاق، ۳۰ دقیقه شیکر و سپس سانتریفیوژ) و کربن محلول در آب داغ (با قرار دادن سوسپانسیون خاک و آب در حمام آب داغ با دمای ۸۰ درجه سلسیوس، ۱۶ ساعت شیکر) و سپس قرائت کربن در عصاره به روش والکی بلک (۱۱ و ۱۴)، فسفر قابل عصاره‌گیری خاک با استفاده از روش اولسن (بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال با pH=۸/۵) و رنگ‌سنجی (۳۴) و EC و pH در عصاره ۱ به ۱ خاک به آب تعیین شد. گیاهان پس از پنج ماه برداشت، شست و شو و خشک شده و وزن خشک دانه و غلظت فسفر دانه اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه شماره ۹/۲ و به منظور مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن ($P < 0/05$) استفاده شد. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و نیز مواد آلی استفاده شده (فیلتریک و بیوجار) در جدول ۱ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیوجار EC کم‌تر و کربن بیش‌تری دارد اما فیلتریک از نظر دیگر عناصر غذایی غنی‌تر می‌باشد. نتایج نشان داد اثر متقابل کود آلی و باکتری به‌جز تنفس برانگیخته بر دیگر ویژگی‌های خاک تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲).

(۲۰۱۸) تأثیر مثبت تلقیح باکتری را در افزایش تنفس خاک، کربن زیتوده میکروبی، کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات گزارش کرد (۲۶). پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های زیستی و باکتری‌های محرک رشد بر برخی خصوصیات خاک و عملکرد گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. خاک مورد نظر از مزارع تحت کشت نیشکر امام خمینی جمع‌آوری گردید. بیوجار مورد استفاده از پیرولیز باگاس نیشکر به مدت هشت ساعت در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس تهیه گردید و پس از عبور از الک ۰/۵ میلی‌متری به خاک افزوده شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود آلی (در سطوح شاهد، ۳۶ و ۷۲ تن در هکتار بیوجار و ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار فیلتریک) و سه تیمار باکتری (شاهد، *Cloacae* *Enterobacter* و *Paenibacillus Lactis*) بود. سطوح فیلتریک و بیوجار با توجه به مطالعات قبلی (۴ و ۳۷) انتخاب شدند. گلدان‌های پنج کیلوگرمی آماده شده و تعداد ۱۰ عدد بذر گندم رقم چمران در هر گلدان کشت شد. سویه‌های باکتری از کلکسیون میکروبی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. کشت شبانه باکتری‌های مذکور در محیط مایع مغذی تهیه شد و حجمی از آن به هر گلدان اسپری شد به نحوی که جمعیت باکتری تقریباً معادل 1×10^6 CFU g^{-1} خاک باشد. پس از پر شدن دانه، برداشت گیاه صورت گرفت و خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک اندازه‌گیری شد. تنفس پایه با قرار دادن خاک در مجاورت محلول هیدروکسید سدیم درون ظروف سر بسته، انکوباسیون به مدت ۵ روز و سپس تیتراسیون به وسیله اسید کلریدریک و تنفس

می‌تواند به دلیل رشد بهتر گیاه در حضور این باکتری (شکل ۴ الف) و ترشح اسیدهای آلی بیش‌تر توسط گیاه (۳۸) و باکتری (۳) باشد.

شکل ۲ الف) میانگین تنفس خاک را نشان می‌دهد که با افزایش مقدار فیلتریک و بیوجار میزان تنفس خاک به‌طور معنی‌دار افزایش یافت که با نتایج قول لر عطا و رئیسی (۲۰۰۷) مطابقت دارد. ایشان بیان کردند هر عاملی که باعث افزایش کربن آلی شود، تنفس و زیتوده میکروبی را نیز افزایش می‌دهد (۱۲). تنفس خاک نشان‌دهنده فعالیت‌های بیولوژیکی خاک است. بزرگی داد و ستد گازی (اکسیژن و دی اکسید کربن) در خاک به مقدار و نوع ماده آلی افزوده شده در خاک، فراوانی و کارکرد ریز جانداران، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و درجه آلودگی آن بستگی دارد (۲۸). ماریناری و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که افزودن ماده آلی (فیلتریک) به خاک با افزایش فعالیت آنزیمی و فعالیت میکروبی خاک، سبب افزایش تولید دی اکسید کربن می‌شود (۲۴). همچنین در همه سطوح کود آلی تنفس خاک در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری و به‌ویژه با باسیلوس بیش‌ترین مقدار را دارا می‌باشند.

شکل ۲ ب) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار فیلتریک و بیوجار ضریب متابولیک به‌طور معنی‌دار کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌باشد. هرچه ضریب متابولیک کم‌تر باشد، چرخه‌های میکروبی کارآمدتر هستند (۵). شکل ۲ ج) مقایسه میانگین کربن زیتوده میکروبی را نشان می‌دهد و افزایش مقدار فیلتریک و بیوجار باعث افزایش معنی‌دار کربن زیتوده خاک و در واقع افزایش جمعیت میکروبی خاک شد (۱۶). نتایج این پژوهش نشان داد که زیتوده میکروبی باکتری ایتروباکتر در تمام تیمارها بیش‌تر بود.

شکل ۱ الف) نشان می‌دهد با افزایش مقدار فیلتریک و بیوجار، هدایت الکتریکی خاک به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. افزایش هدایت الکتریکی خاک در اثر کاربرد بیوجار احتمالاً به دلیل حضور نمک‌های محلول در بیوجار و بالاتر بودن هدایت الکتریکی آن نسبت به خاک می‌باشد (۶). نتیجه مطالعه نیگوسی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی کاهو نیز نشان داد که با افزایش بیوجار به خاک هدایت الکتریکی افزایش یافت (۳۲). در این پژوهش، بیش‌ترین افزایش EC مربوط به تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار فیلتریک که فاقد باکتری هستند اتفاق افتاده و باکتری‌های باسیلوس و ایتروباکتر هر دو باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک شده‌اند و این موضوع می‌تواند به دلیل رشد بهتر گیاه در این تیمارها (شکل ۴ الف) و جذب بیش‌تر عناصر غذایی و نیز ایجاد تعادل بهتر در خاک توسط گیاه و باکتری باشد (۳۵ و ۱۸). شکل ۱ ب) مقایسه میانگین داده‌های pH خاک را نشان می‌دهد که افزایش مقدار فیلتریک و بیوجار باعث افزایش معنی‌دار pH خاک شده است. بیش‌ترین مقدار pH مربوط به تیمار ۷۲ تن در هکتار بیوجار بدون باکتری می‌باشد و این موضوع بیانگر تأثیر بیش‌تر بیوجار بر pH خاک می‌باشد. کویی و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از سطوح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوجار باعث افزایش دو تا پنج درصدی pH خاک گردید (۷). مطالعات آلزبیر و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد در خاک‌های آهکی استفاده از بیوجار باعث تغییر اندک در pH خاک شد که این تغییر به خاصیت بافری شدید این خاک‌ها نسبت داده شده است (۱۰). همچنین فعالیت باکتری‌ها منجر به کاهش معنی‌دار pH خاک شده است و از بین دو باکتری، باسیلوس تأثیر بیش‌تری در کاهش pH خاک داشته است که

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، فیلترکیک و بیوچار.

Table 1. Some chemical and physical properties of Soil, Filter cake and Biochar.

بیوچار Biochar	فیلترکیک Filter cake	خاک Soil	ویژگی Properties
7.38	8.12	7.42	pH
5.92	11.2	5.38	(dS.m ⁻¹) EC
-	-	Sandy clay loam	بافت خاک (Soil texture)
463	512	8.26	(mg.kg ⁻¹) P
0.528	2.25	0.053	(%) N
0.615	38.2	0.751	کربن آلی (%)
17.8	123	-	(mg.kg ⁻¹) Zn
3.13	37.7	-	(mg.kg ⁻¹) Cu
79.4	3387	-	(mg.kg ⁻¹) Mn

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر میانگین مربعات برخی شاخص‌های کیفی خاک و برخی ویژگی‌های گیاه.

Table 2. Analysis of Variance for experimental treatments effects on mean square of some soil quality indices and plant properties.

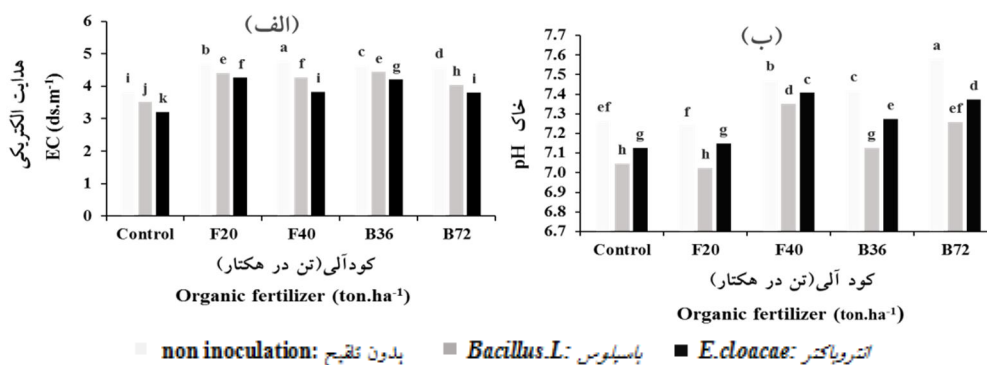
خطا Error	کود آلی * باکتری Organic fertilizer * Bacteria	باکتری Bactreja	کود آلی Organic fertilizer	منبع تغییرات Source of variation
30	8	2	4	Df
0.013	0.037**	1.57**	1.34**	EC
0.003	0.002**	0.213**	0.162**	pH
6.77	95.2**	579**	1195**	تنفس پایه BR
1166	652 ^{ns}	14311 ^{ns}	43653 ^{ns}	تنفس برانگیخته SIR
0.014	0.306**	1.74**	0.175**	ضریب متابولیک qCO ₂
0.000	0.052**	0.345**	0.271**	کربن آلی O.C.
86.6	70398**	985271**	855318**	کربن محلول در آب سرد CWC
500	112448**	1149283**	7922988**	کربن محلول در آب گرم HWC
16.3	208**	3498**	3303**	کربن قابل اکسید با پرمنگنات POC
8.35	49.4**	4449**	826**	کربن زیتوده میکروبی MBC
1.02	11.0**	69.9**	330**	فسفر اولسن Olsen P
0.005	0.172**	1.74**	4.47**	وزن خشک دانه Grain dry weight
0.002	0.007**	0.092**	0.144**	غلظت فسفر دانه P con. of grain

** و * به ترتیب نشان‌دهنده، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار و در سطح احتمال ۰/۰۵.

** , * Significant at 1% and 5% respectively. Abbreviations: BR= basal respiration, SIR= substrate induced respiration, qCO₂= metabolic quotient, OC= organic carbon, CWC= cold water carbon dissolved, HWC= hot water carbon dissolved, POC= permanganate oxidable carbon, MBC= microbial biomass carbon.

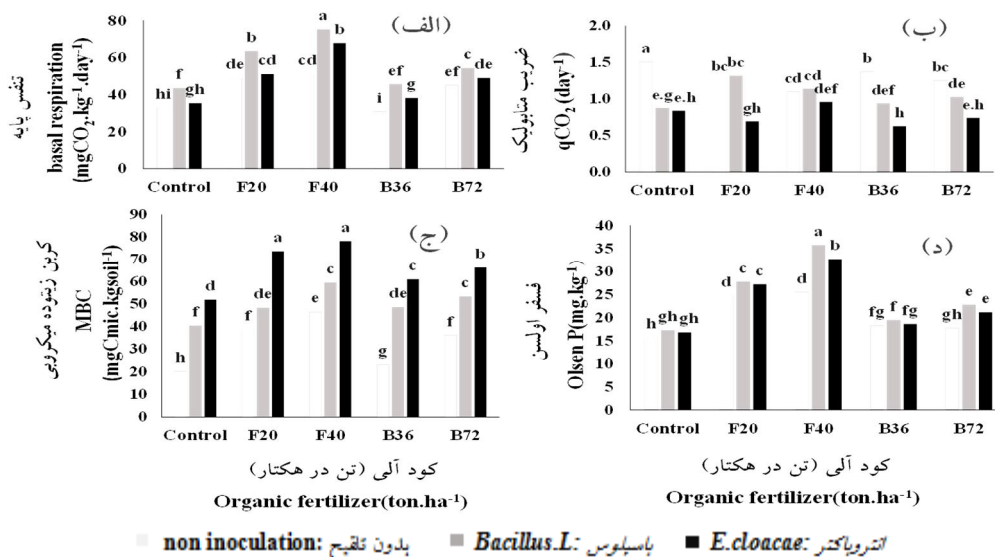
مقدار مربوط به تیمار شاهد بدون باکتری بود. نتایج تجزیه کودهای آلی (جدول ۱) نیز نشان داد که فیلترکیک دارای فسفر بیشتری نسبت به بیوجار می‌باشد. نتایجی که توسط مطالعات اوبرسون و همکاران (۲۰۰۱) به دست آمد نشان‌دهنده تأثیر مثبت حضور میکروارگانیسم‌ها در تغییر شکل فسفر خاک از فرم غیرقابل جذب به فرم قابل جذب گیاه می‌باشد (۳۳). نتایج این مطالعه نیز نشان‌دهنده تأثیر مثبت وجود باکتری در افزایش فسفر خاک نسبت به تیمارهای بدون باکتری بود.

فسفر یکی از عناصر غذایی پرمصرف اصلی برای رشد و نمو گیاهان است. گرچه فسفر به مقدار فراوانی در خاک‌ها به دو شکل آلی و معدنی یافت می‌شود (۲۲)، اما در مقایسه با سایر عناصر غذایی در بیش تر خاک‌ها تحرک و فراهمی کمتری دارد. طبق نتایج به دست آمده از شکل (۲) افزایش مقدار فیلترکیک و بیوجار فسفر در دسترس گیاه (فسفر اولسن) را به طور معنی‌دار افزایش داد، که تیمار ۴۰ تن در هکتار فیلترکیک مایه‌زنی‌شده با باکتری باسیلوس، بیش‌ترین مقدار فسفر را داشت و کم‌ترین



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر کود آلی و باکتری بر هدایت الکتریکی و pH خاک.

Figure 1. Mean comparison of organic fertilizer and bacteria effects on soil EC and pH. Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01).



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف کود آلی و باکتری بر تنفس، ضریب متابولیک و کربن زیتوده میکروبی و فسفر خاک.

Figure 2. Mean comparison of organic fertilizer and bacteria effects on soil respiration, metabolic quotient, microbial carbon biomass and Olsen phosphorus.

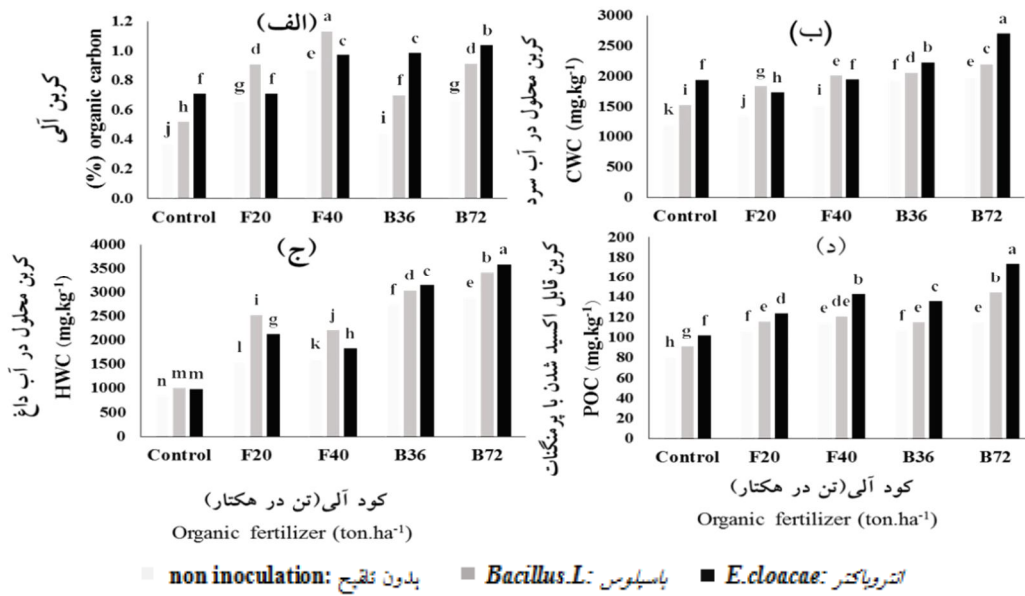
Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01).

دارای بیوچار بود که با افزایش بیوچار این مقدار به طور معنی دار افزایش یافت، و در تیمارهای بیوچار مایه زنی با باکتری *انتروباکتر* سبب افزایش بیش تری در کربن محلول در آب داغ شد، در حالی که در تیمارهای دارای فیلترکیک مایه زنی با باکتری *باسیلوس* مقدار کربن محلول در آب داغ را بیش تر افزایش داد (شکل ۳ ج).

کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم یک شاخص از کربن آلی ناپایدار قابل اکسیداسیون شیمیایی خاک است که به تغییرات محیطی و مدیریتی بسیار حساس بوده و به سرعت می تواند تغییرات کربن فراهم را در خاک نشان دهد (۸). نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش مقادیر بیوچار و فیلترکیک باعث افزایش معنی دار مقدار کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات شد و در هر دو بیش ترین مقدار مربوط به تیمار مایه زنی شده با باکتری *انتروباکتر* بود (شکل ۳ د).

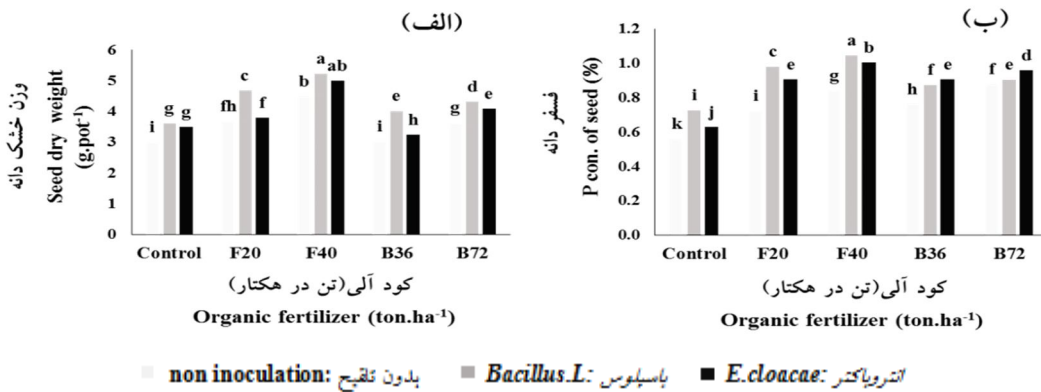
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل کود آلی و باکتری بر وزن دانه و همچنین فسفر دانه گیاه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده های وزن خشک دانه گندم نشان داد که با افزایش مقدار فیلترکیک و بیوچار نسبت به تیمار شاهد وزن دانه افزایش یافت (شکل ۴ الف). به طور کلی مایه زنی باکتری های محرک رشد سبب افزایش وزن خشک دانه گردید و این افزایش در باکتری *باسیلوس* به طور معنی دار بیش تر بود. نتایج به دست آمده با نتایجی که توسط ماژور و همکاران (۲۰۱۰) و مطالعات ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) که افزایش عملکرد گیاه ذرت با افزایش مقدار بیوچار را بیان کردند مطابقت دارد (۲۳ و ۴۱). در اثر افزایش ماده آلی و مصرف هم زمان کودهای زیستی، به دلیل فراهم شدن و دسترسی آسان تر عناصر غذایی، افزایش رشد گیاه و تولید بیش تر ماده خشک اتفاق می افتد که قبلاً نیز گزارش شده است (۱۸).

شکل ۳ مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر شکل های کربن را نشان می دهد. کربن آلی خاک با افزایش فیلترکیک و بیوچار مقدار آن نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی دار داشت (شکل ۳ الف). بیش ترین مقادیر کربن آلی به ترتیب در تیمار ۴۰ تن در هکتار فیلترکیک که دارای باکتری *باسیلوس* بود و تیمار ۷۲ تن در هکتار بیوچار که همراه با باکتری *انتروباکتر* بود مشاهده شد. نتایج نشان داد که فعالیت باکتری ها در محیط های مختلف متفاوت بود و با توجه به محتوای کود آلی توانایی آن ها در تجزیه متفاوت بود. مطالعات هفشجانی و همکاران (۱۳۹۶)، نیگوسی و همکاران (۲۰۱۲) و کوبی و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان می کند که کاربرد بیوچار باگاس نیشکر موجب افزایش کربن آلی و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک گردید (۷، ۹ و ۳۲). منجری و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که با افزایش مقدار مصرف فیلترکیک ماده آلی خاک افزایش پیدا کرد (۲۹). کربن محلول در آب سرد بخشی از کربن ناپایدار خاک بوده و قسمت کوچکی از مواد آلی در خاک را شامل می شود و علاوه بر محلول بودن در خاک از منافذ با قطر کوچک تر از ۰/۴۵۰ میکرومتر نیز عبور می کنند (۱۵). مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر کربن محلول در آب سرد نشان داد که بیش ترین مقدار کربن مربوط به تیمارهای دارای بیوچار می باشد که با افزایش مقدار بیوچار کربن محلول در آب سرد به طور معنی دار افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای دارای باکتری *انتروباکتر* بیش تر بود (شکل ۳ ب). همچنین با افزایش مقدار فیلترکیک، کربن محلول در آب سرد به طور معنی دار افزایش یافت. کربن محلول در آب داغ یک شاخص مفید و منعکس کننده چرخش ماده آلی در خاک است (۶ و ۲۷). نتایج نشان داد که بیش ترین مقدار کربن محلول در آب داغ مربوط به تیمارهای



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف کود آلی و باکتری بر شکل‌های کربن در خاک.

Figure 3. Mean comparison of organic fertilizer and bacteria effects on soil carbon fractions. Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف کود آلی و باکتری بر وزن خشک و فسفر دانه گیاه.

Figure 4. Mean comparison of organic fertilizer and bacteria effects on grain dry weight and phosphorus content. Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.01).

آزمایشی بر روی ذرت نشان دادند که کاربرد مقدار ۲۰ تن فیلتریک در هکتار باعث افزایش رشد و تولید گیاه و در نتیجه افزایش مقدار کل ماده خشک، پروتئین و عملکرد علوفه گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (۳۶).

در این پژوهش با وجود اینکه بیوجار در مقادیر وزنی بیشتر به کار برده شد، اما کاربرد فیلتریک در

با افزایش مقدار بیوجار و فیلتریک فسفر دانه افزایش یافت و بیشترین غلظت فسفر دانه در تیمارهای فیلتریک مایه‌زنی شده با باسیلوس دیده شد (شکل ۴ ب). جارك و همكاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که عملکرد گندم در اثر تلقیح به‌وسیله باکتری‌های محرک رشد، ۸ تا ۱۱ درصد افزایش داشت (۱۷). پشت‌دار و همكاران (۲۰۱۲) در

مایه‌زنی‌شده با *انتروباکتر* بیش‌تر از *باسیلوس* می‌باشد، اما کربن آلی، کربن محلول در آب سرد و کربن محلول در آب داغ در تیمارهای فیلتریک مایه‌زنی‌شده با *باسیلوس* بیش‌تر بوده که نشان‌دهنده فعالیت بهتر *باسیلوس* در حضور ماده آلی می‌باشد. همچنین باکتری *باسیلوس* در همه تیمارها فسفر اولسن خاک را بیش‌تر از *انتروباکتر* افزایش داده است، که می‌تواند نشان‌دهنده سیستم آنزیمی قوی‌تر *باسیلوس* و تأثیر بیش‌تر آن در افزایش عملکرد دانه گندم باشد. *باسیلوس*ها از گونه‌های مهم حل‌کننده فسفات‌ها هستند که به‌وسیله ترشح آنزیم فسفاتاز قادرند فسفر نامحلول را با فرم قابل‌جذب گیاه تبدیل کنند (۳۳). در این پژوهش کودهای آلی با افزایش ماده آلی خاک سبب جذب کربن قابل دسترس به‌عنوان منبع انرژی بخش زنده خاک و سبب افزایش فعالیت و رشد میکروبی و در نتیجه انباشت کربن در زیتوده میکروبی خاک گردید.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش بیانگر تأثیر مثبت کاربرد کودهای آلی و زیستی در بهبود ویژگی‌های کیفی خاک و نیز رشد گیاه گندم می‌باشد. در این آزمایش با وجود این‌که فیلتریک در مقادیر کم‌تری به‌کار برده شد اما تأثیر آن در بهبود شاخص‌های کیفی خاک و نیز وزن و غلظت فسفر دانه گندم بیش‌تر از بیوجار بود. همچنین با افزایش سطح کاربرد کودهای آلی شاخص‌های خاک و گیاه نیز بهبود یافت و مقدار ۴۰ تن در هکتار فیلتریک به‌عنوان کود آلی در کشت گندم توصیه می‌شود. همچنین باکتری *باسیلوس* با وجود زیتوده میکروبی کم‌تر نسبت به *انتروباکتر* مؤثرتر بود و به‌عنوان کود زیستی مناسب بوده و کاربرد تلفیقی فیلتریک و *باسیلوس* مناسب‌ترین تیمار برای کشت گیاه گندم در شرایط مشابه این پژوهش می‌باشد.

افزایش فسفر اولسن خاک و کربن آلی خاک مؤثرتر بوده و برای بهبود شاخص‌های کیفی خاک توصیه می‌شود. همچنین با توجه به نیاز به کوره و صرف انرژی برای تولید بیوجار و در نتیجه هزینه بالای تولید آن، استفاده از بیوجار در درجه بعدی (پس از فیلتریک) توصیه می‌شود.

با مقایسه بین میزان کربن زیتوده میکروبی و کربن محلول در آب داغ می‌توان گفت که میزان کربن استخراج شده با آب داغ در همه تیمارها بیش‌تر از کربن استخراج شده از زیتوده میکروبی است. از دلایل آن می‌توان به این مورد اشاره کرد که کربن محلول در آب داغ نه تنها شامل کربن زیتوده میکروبی بلکه شامل ترشحات ریشه‌ای، قندهای محلول، کربوهیدرات‌های محلول و آمینواسیدها است و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد که برای استخراج کربن آب داغ استفاده می‌شود سبب مرگ سلولی میکروارگانیسم‌ها می‌گردد و بخش زیادی از کربن زیتوده میکروبی و غیرمیکروبی ماده آلی وارد عصاره‌گیری می‌شود (۱۳). با توجه به تفاوت میان تیمارهای باکتری در خاک‌های شاهد (بدون کود آلی)، به روشنی دیده می‌شود که با وجود این‌که تنفس خاک در تیمارهای شاهد مایه‌زنی شده با *انتروباکتر* کم‌تر از *باسیلوس* بود اما کربن زیتوده میکروبی، کربن آلی، کربن محلول در آب سرد و کربن قابل اکسید با پرمنگنات در تیمارهای *انتروباکتر* بیش‌تر بود. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده رشد سریع‌تر و زیتوده میکروبی بیش‌تر *انتروباکتر* باشد که ممکن است مربوط به تفاوت‌های رشدی میان باکتری‌ها باشد و یا این‌که ممکن است *انتروباکتر* با خاک مورد آزمایش هماهنگی بیش‌تری داشته، هم‌چنان که نتایج بهره متابولیک نیز نشان‌دهنده ضریب متابولیک کم‌تر برای *انتروباکتر* و شرایط بهتر برای رشد این باکتری می‌باشد. این در حالی است که در تیمارهای دارای کود آلی، با این‌که در هر دو تیمار فیلتریک و بیوجار، کربن زیتوده میکروبی خاک‌های

منابع

1. Abdollahi, L. 2005. Effect of increasing bagasse and filter cake as organic carbon, soil nutrient content, soil characteristics and sugar beet yield. Master thesis for Soil Science. Shahid Chamran University of Ahwaz. (In Persian)
2. Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*. 22: 2. 251-255.
3. Ashrafuzzaman, M., Akhtar, H.F., Razi, M.I., Anamul, M.D.H., Zahurul, M.I., Shahidullah, S.M., and Sariah, M. 2009. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *Afric. J. Biotechnol.* 8: 7. 1247-1252. (In Persian)
4. Bizhanpour, H., Bahadori, F., Makvandi, M.A., and Ansari, M.S. 2010. Effect of Cake filter and Bagas on growth and yield of Sugarcane. National Conference on Water, Soil, Plant and Agricultural Mechanization, Islamic Azad University of Dezful. (In Persian)
5. Brookes, P.C., Heijnen, C.E., McGrath, S.P., and Vance, E.D. 1986. Soil microbial biomass estimates in soils contaminated with metals. *Soil Biology and Biochemistry*. 18: 4. 383-388.
6. Chantigny, M.H., Angers, D.A., Prévost, D., Simard, R.R., and Chalifour, F.P. 1999. Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 4. 543-550.
7. Cui, L., Yan, J., Yang, Y., Li, L., Quan, G., Ding, C., Chen, T., Fu, Q., and Chang, A. 2013. Biochar for heavy metals in soil. *Bioresources*. 8: 5536-5548.
8. Culman, S.W., Snapp, S.S., Freeman, M.A., Schipanski, M.E., Beniston, J., Lal, R., Drinkwater, L.E., Franzluebbers, A.J., Glover, J.D., Grandy, A.S., Lee, J., Six, J., Maul, J.E., Mirksy, S.B., Spargo, J.T., and Wander, M.M. 2012. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 76: 494-504.
9. Divband Hafshejani, L., Naseri, A., Hoshmand, A., Abbasi, F., and Soltani Mohammadi, A. 2017. Effect of sugarcane bagasse biochar application on chemical properties a sandy loam soil. *J. Sci. Irrig. Engin.* 40: 1. 63-72. (In Persian)
10. Elzobair, K.A., Stromberger, M.E., Ippolito, J.A., and Lentz, R.D. 2016. Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol. *Chemosphere*. 142: 145-152.
11. Ghani, A., Dexter, M., and Perrott, K.W. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 9. 1231-1243.
12. Ghollarata, M., and Raiesi, F. 2007. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran. *Soil Biology and Biochemistry*. 39: 7. 1699-1702.
13. Gregorich, G., Beare, M.H., Stoklas, U., and St-Georges, P. 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*. 113: 3. 237-252.
14. Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*. 85: 221-268.
15. Herbert, B.E., and Bertsch, P.M. 1995. Characterization of dissolved and colloidal organic matter in soil solutions: A review. P 63-88, In: J.M. Kelley and W.W. McFee (eds.), *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
16. Hoffman, J., Bezchlebova, J., Dusek, L., Dolezal, L., Holoubek, I., Andel, P., Ansorgova, A., and Maly, S. 2003. Novel approach to monitoring of the soil biological quality. *Environment International*. 28: 771-778.

17. Jarak, M., Protio, R., Jankovio, S., and Colo, J. 2006. Response of wheat to Azotobacter- Actinomycet inoculation and nitrogen fertilizers. Romanian Agriculture Research. 23: 37-41.
18. Jat, R.S., and Ahlawat, I.P.S. 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. J. Sust. Agric. 28: 1. 41-54.
19. Jenkinson, D.S., and Powelson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil: A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry. 8: 209-213.
20. Juan, F.L. 1989. Application of Filter Muds to Sugarcane Soils. Huastecas Expriment Station, CD. Valles, S.L.P., Mexico, 127p.
21. Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., El-Daim, I.A.A., Bejai, S., and Meijer, J. 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. J. Plant Growth Regul. 32: 1. 122-130.
22. Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture- a review. Agronomy for Sustainable Development. 27: 1. 29-43.
23. Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., and Goodale, C. 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. Global Change Biology. 16: 4. 1366-1379.
24. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology. 72: 1. 9-17.
25. Masto, R.E., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J., and Ram, L.C. 2013. Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity. Catena. 111: 64-71.
26. Mazraeh, M. 2018. Effect of some growth promoting bacteria on carbon component of soil under wheat and corn crop rotation (Rhizobax). Master thesis for Soil Science. Shahid Chamran University of Ahwaz. (In Persian)
27. Mazzarino, M.J., Szott, L., and Jimenez, M. 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agroecosystems. Soil Biology and Biochemistry. 25: 2. 205-214.
28. Mirahmadi, H., and Safari, A.A. 2003. The effect of lead contamination on basal and Subestrat Induced respiration soil, In: Proceedings of Congress on Soil and stable environment in Karaj, Buali-Sina University, Hamedan, Iran. (In Persian)
29. Monjezi, H., Moradi Talavat, M., Seyadat, S.A., Kochak zade, A., and Hamdi, H. 2014. Effect of application of sugarcane filter muds, chemical and biological fertilizers on canola grain yield and quality and some soil properties. J. Crop Agric. 2: 445-457. (In Persian)
30. Nahidan, S., and Noorbakhsh, F. 2009. The impact of the history of Organic Carbon management on soil biological Properties. Articles of the eleventh Iranian Soil Science Congress. Pp: 85-86. (In Persian)
31. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, (eds.) Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties, ASA and SSSA, Medison, Wisconsin.
32. Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., and Ambaw, G. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. Amer.-Euras. J. Agric. Environ. Sci. 12: 3. 369-376.
33. Oberson, A., Friesen, D.K., Rao, I.M., Buhler, S., and Frossard, E. 2001. Phosphorus transformations in an Oxisol under contrasting land- use systems: the role of the soil microbial biomass. Plant Soil. 237: 197-210.
34. Olsen, S.R., and 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. ASA and SSSA, Medison, Wisconsin.

35. Patten, C.L., and Glick, B.R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*. 68: 8. 3795-3801.
36. Poshtdar, A.S.A., Siedet, A., Abdali Mashhadi, S.A., Moosavi, and Hamdi, H. 2012. Comparison between application of PGPR bacteria and chemical fertilizers on quality and total silage yield of Maize under different organic seed bed. *Inter. J. Agric. Crop Sci.* 4: 713-717.
37. Rutigliano, F.A., Romano, M., Marzaioli, R., Baglivo, I., Baronti, S., Miglietta, F., and Castaldi, S. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *Europ. J. Soil Biol.* 60: 9-15.
38. Singh, G., Natesan, S.K.A., Singh, B.K., and Usha, K. 2005. Improving Zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*. 88: 36-44.
39. Wimmer, J.P. 2011. Biochar research and a case study in Kansas (Doctoral dissertation, University of Kansas). Lawrence, Kansas, U.S. 55p.
40. Xu, X., Cao, X., Zhao, L., Wang, H., Yu, H., and Gao, B. 2013. Removal of Cu, Zn, and Cd from aqueous solutions by the dairy manure-derived biochar. *Environmental Science and Pollution Research*. 20: 1. 358-368.
41. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil from central China plain. *Plant and Soil*. 351: 263-275.



Effects of application of filter cake, biochar and PGPR bacteria as organic- and bio-fertilizers on some soil quality indices and wheat growth

S. Motileji¹, A. Landi² and *R. Zalaghi³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,

²Professor, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,

³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 05.27.2018; Accepted: 10.15.2018

Abstract

Background and Objectives: Due to the undesirable effects of using long-term chemical fertilizers and the deflection of organic matter in Iranian soils, it is necessary to use of organic fertilizers. Many of the plant remains, including sugar cane, can be transformed into biochars and used as organic fertilizers in the soil. Also, the filter cake is a component of the purification products of sugar that can be used as organic material. The present study was conducted to investigate the effect of organic fertilizers and stimulating bacteria on some soil characteristics and wheat yield.

Materials and Methods: This research was done in greenhouse in a completely randomized design with factorial arrangement. Factors including organic fertilizer (control, filter cake as 20 (F20) and 40 ton ha⁻¹ (F40) and biochar as 36 (B36) and 72 ton ha⁻¹(B72)) and bacteria (control, *Enterobacter Cloacae* and *Paenibacillus Lactis*). Five kg pots were prepared and 10 grains of Chamran variety were cultivated. Harvest was carried out after grain filling and some soil properties such as basal and substrate-induced respirations (BR and SIR respectively), soil organic carbon (SOC), microbial biomass carbon (MBC), permanganate oxidable carbon (POC), cold and hot water soluble carbon (CWC and HWC), Olsen phosphorus and also the dry biomass of the plant grains and the amount of P of them were measured.

Results: The results showed that bacterial inoculation reduced the amount of electrical conductivity and pH in compared to non-inoculated treatments. The highest amount of BR (75.0 mg kg⁻¹day⁻¹), Olsen phosphorus (35.7 mg kg⁻¹) and SOC (1.13%) were observed in the treatment of F40 inoculated with *Bacillus* and the highest amount of MBC (78.1 mg kg⁻¹) was observed in soil treated with F40 inoculated with *Enterobacter*. Also, the highest amount of CWC (2706 mg kg⁻¹), HWC (3596 mg kg⁻¹) and POC (173 mg kg⁻¹) were related to the treatment of B72 inoculated with *Entrobacter*. The highest amount of dry weight (5.23 g pot⁻¹) and seed phosphorous amount (1.04%) were related to F40 inoculated with *Bacillus*.

Conclusion: However biochar was applied to soil in higher weight; but, regarding with plant dry weight, soil olsen phosphorus and SOC, filter cake was more efficient and more proper to improve soil quality indices. Also, the results show that *Bacillus* had better effects than *Enterobacter* and it is recommendable to use the F40 as organic fertilizer and inoculation the soil with *Bacillus* for better growth of wheat.

Keywords: *Bacillus*, Biological Properties, *Enterobacter*, Organic fertilizer, Plant

* Corresponding Author; Email: r.zalaghi@scu.ac.ir

Arch