

تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر برخی ویژگی‌های بیولوژیکی و شکل‌های آلی کربن خاک زیر کشت گندم

نعیمه عنایتی‌ضمیر*، مجتبی نوروزی مصیر و اکبر قدم‌خانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۰)

چکیده

بخش آلی خاک با تأثیرگذاری بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نقش مهمی در افزایش تولید محصولات و چرخه عناصر غذایی مختلف در خاک دارد. مطالعه پیش رو با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر تنفس پایه، بهره میکروبی، کربن آلی، کربن زیست‌توده میکروبی، کربن قابل اکسید با پرمنگنات، کربن محلول در آب سرد و گرم زیر کشت گندم رقم چمران در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش تکرار صورت گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح باکتری (شاهد بدون مایه‌زنی، مایه‌زنی با *انتروباکتر کلوآسه* R_{۳۳}، مایه‌زنی با *انتروباکتر کلوآسه* R_۱ و مخلوط دو باکتری) بودند. طی دوره آزمایش ویژگی‌هایی مانند ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره کشت، وزن خشک ریشه، اندام هوایی و عملکرد دانه محاسبه شد. همچنین ویژگی‌های بیولوژیکی و شکل‌های مختلف کربن در خاک پس از پایان کشت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان‌دهنده تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش شاخص کلروفیل، ارتفاع، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد دانه در مقایسه با شاهد بود. کمترین مقدار pH و بیشترین مقدار شکل‌های کربن در حضور سویه‌های مختلف باکتری نسبت به شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار کربن آلی خاک با مخلوط دو باکتری با مقدار ۲۲/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی به ترتیب با مخلوط دو باکتری، *انتروباکتر کلوآسه* R_۱، *انتروباکتر کلوآسه* R_{۳۳} با مقادیر ۸۷/۶۷ و ۴۲ و ۲۶/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. همبستگی بین شکل‌های کربن خاک نشان داد کربن قابل استخراج با آب سرد و گرم، کربن آلی محلول و کربن قابل اکسید با پرمنگنات همبستگی مثبت معنی‌داری با تنفس و کربن زی‌توده میکروبی و همبستگی منفی با مقدار pH خاک دارند. استفاده از مایه تلقیح میکروبی موجب افزایش اجزای کربن در خاک شد که می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گیاه نقش مثبت داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، تنفس، زیست‌توده، عملکرد، کربن محلول

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: n.enayatzamir@scu.ac.ir

مقدمه

ریزجانداران خاک نقش مهمی در چرخه بیوشیمیایی عناصر، تنظیم پویایی مواد آلی و افزایش دسترسی مواد مغذی برای گیاه در ریزوسفر دارند. شاخص‌های بیولوژیکی خاک به‌عنوان معیاری برای تغییر چرخه مواد مغذی در نتیجه تغییر کاربری، برنامه‌های اصلاحی و مدیریتی و به‌طور بالقوه در کاهش هزینه‌ها و مدیریت اثرات زیست‌محیطی توانا هستند. منطقه ریزوسفر ریشه گیاهان نشان‌دهنده محل رقابت برای کربن قابل دسترس و مواد مغذی بین ریزجانداران خاک است. انتقال کربن از گیاه به خاک از طریق انتشار ریشه یکی از مهم‌ترین منابع کربن موجود برای ریزجانداران است (۲۲). کربن آلی خاک به‌دلیل نقش مهم بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، یک عامل مهم در ارزیابی وضعیت کیفی خاک است. ماده آلی خاک (SOM, Soil organic matter)، گروه نایکناختی از مواد گوناگون مانند بقایای گیاهی، جانوری و ریزجانداران تازه، با تجزیه میانه و هموسی شده به‌همراه مواد ساخته‌شده ریزجانداران در خاک است (۳۰). کربن زیتوده ریزجانداران، کربن بدن ریزجانداران است که با مرگ آنها وارد زنجیره کربن خاک می‌شود. کربن زیتوده ریزجانداران مهم‌ترین بخش واکنش‌دهنده ماده آلی در خاک است. کربن فعال به شکلی از کربن خاک گفته می‌شود که توسط گیاهان و ریزجانداران خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۹). فعالیت میکروبی خاک نقشی کلیدی در تجزیه مواد آلی بومی و همچنین بقایای افزوده‌شده به سطح خاک دارد (۳۰). فعالیت ریزجانداران برای تأمین مقدار کافی مواد مغذی گیاه مهم است و نقش مهمی در تنظیم پویایی تجزیه مواد آلی و دسترسی مواد مغذی برای گیاهان دارد.

کمار و رای همبستگی مثبتی بین افزایش جمعیت باکتری‌های انحلال‌کننده فسفر و کربن آلی خاک گزارش کردند (۲۰). با توجه به اینکه اطلاعات کمی در مورد تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های زیستی و اشکال مختلف کربن در خاک‌های زراعی کشور وجود دارد، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر برخی باکتری‌های محرک رشد بر برخی

شاخص‌های زیستی و شکل‌های آلی کربن در خاک زیر کشت گندم در شرایط گلخانه‌ای انجام شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت مرکب از عمق زراعی ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تهیه و بعد از هوا خشک شدن، برخی ویژگی‌های آن (جدول ۱) شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره ۱:۱ خاک: آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، آهک به روش تیتراسیون، فسفر قابل دسترس به روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از اسنات آمونیوم و نیتروژن به روش کج‌دال تعیین شدند (۱۸).

تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر برخی شاخص‌های زیستی و شکل‌های کربن در خاک زیر کشت گندم رقم چمران در شرایط گلخانه در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش تکرار بررسی شد. تیمارهای آزمایش شامل مایه‌زنی باکتری به خاک در چهار سطح [شاهد (B_۱)، اتروباکتر کلواسه R_{۳۳} (*Enterobacter cloacae strain Rhizo_33*)، اتروباکتر کلواسه R_۱ (*Enterobacter cloacae strain sugR_1*) و ترکیب اتروباکتر کلواسه R_{۳۳} و اتروباکتر کلواسه R_۱ (B_۲)] بود. باکتری‌های مذکور که دارای ویژگی‌های محرک رشد و انحلال عناصر در شرایط آزمایشگاهی و کشت گلدانی بودند از کلکسیون میکروبی گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شدند (۱۲، ۱۴ و ۲۹). از کشت شبانه باکتری‌های ذکر شده در محیط کشت مایع مغذی با کدورت بر اساس استاندارد مک‌فارلند (۱/۵×۱۰^۸ CFU/ml) به‌منظور مایه‌زنی به خاک استفاده شد. برای گندزدایی رویه دانه‌ها و جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی، بذرها با الکل ۹۶ درصد به‌مدت ۳۰ ثانیه و سپس هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت دو دقیقه ضدعفونی سطحی شدند و به‌منظور حذف هیپوکلرید سدیم چندین بار با آب مقطر سترون شست‌وشو داده شدند. برای تأمین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی	pH	EC (dS m ⁻¹)	نیترژن (%)	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل تبادل (mg kg ⁻¹)	کربنات کلسیم (%)	کربن آلی (%)	بافت خاک
مقدار	۷/۳	۳/۱	۰/۰۶	۱۱/۲	۲۵۰	۳۱	۰/۳۸	کلی - لوم

به مدت ۱۰ ثانیه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۶ ساعت قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ و عبور از فیلتر مقدار کربن به روش هضم تر اندازه‌گیری شد (۱۵). کربن قابل اکسید با پرمنگنات پتاسیم (کربن فعال) با استفاده از محلول ۳۳ میلی‌مولار پرمنگنات پتاسیم (۵) و کربن آلی محلول پس از عصاره‌گیری با استفاده از روش بولان و همکاران (۲۰)، کربن زیتوده میکروبی به روش تدخین- استخراج (۳۶)، تنفس پایه خاک بر اساس اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن جذب شده توسط سود به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک (۱) و بهره میکروبی از نسبت کربن زیتوده میکروبی به کربن آلی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه مقادیر میانگین‌ها به وسیله آزمون توکی انجام و نمودارها با نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارها بر شاخص‌های زیستی، شکل‌های کربن و pH خاک نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سویه‌های باکتری بر تنفس پایه، بهره میکروبی، کربن زیتوده میکروبی، کربن آلی، کربن محلول در آب سرد و گرم، کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات پتاسیم (کربن فعال)، کربن آلی محلول و pH خاک در سطح احتمال یک درصد است (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین تأثیر سویه‌های باکتری بر تنفس پایه، بهره میکروبی، کربن زیتوده میکروبی، کربن آلی، کربن محلول در آب سرد و گرم، کربن فعال و کربن آلی محلول نشان‌دهنده افزایش این ویژگی‌ها در تیمار دارای باکتری نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) بود (جدول ۳). کمترین مقدار pH خاک در حضور سویه‌های باکتری نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

گیاه، به ترتیب از منابع کود اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های کودی برای گیاه گندم استفاده شد (۲۱). در گلدان‌های شش کیلوگرمی ۱۰ عدد بذر کشت شد که پس از اطمینان از جوانه‌زنی به پنج عدد بذر در گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه با محدوده دمای ۱۸ تا ۲۷ درجه سلسیوس و با رطوبت نسبی رطوبت ۴۵ تا ۸۵ در شبانه‌روز، با متوسط ۱۲ ساعت روشنایی نگهداری شدند. رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. پیش از ورود گیاه به مرحله زرد شدن برگ‌ها کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD-502 و در پایان دوره رشد ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، اندام هوایی گندم از سطح خاک جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون، خشک و سپس وزن خشک اندام هوایی گیاه توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. به‌منظور جدا کردن ریشه‌ها، گلدان‌ها را وارونه کرده و پس از تخلیه کامل گلدان، ریشه‌ها جداسازی و با آب شسته شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها، نمونه‌های ریشه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. همچنین عملکرد دانه (پنج بوته در گلدان) نیز اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری کربن قابل استخراج با آب سرد مقدار پنج گرم خاک با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت یک ساعت با سرعت ۳۰ دور بر دقیقه تکان داده شد. سوسپانسیون به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد و مقدار کربن موجود در عصاره با روش هضم تر اندازه‌گیری شد. برای تعیین کربن قابل استخراج با آب داغ ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به حدود پنج گرم خاک هواخشک اضافه و پس از تکان دادن

جدول ۲. میانگین مربعات اثر تیمارها بر برخی شاخص‌های زیستی، شکل‌های کربن و pH خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	تنفس پایه	بهره میکروبی	کربن زیتوده میکروبی	کربن آلی	کربن محلول در آب سرد	کربن محلول در آب گرم	کربن فعال	کربن آلی محلول	pH
تیمارها	۳	۶۹۶**	۲۰۲۷**	۲۷۹**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۱۱**	۳۲۴۳**	۴۰۷**	۰/۰۳۹**
خطا	۲۰	۶۹/۷	۱۷۴	۱۱/۷۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۴	۴۱۹	۴/۶۵	۰/۰۰۰۰۶
ضرب تغییرات	-	۲۹	۱۲/۷۵	۱۳/۲	۴/۴	۲۴	۱۲/۵	۱۴/۲۲	۹/۶	۰/۳۶

** معنی داری در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر برخی شاخص‌های زیستی، شکل‌های کربن و pH خاک

تیمارها	BR (mg CO ₂ /100 g soil/day)	qMic	MBC (mg/100g)	OC (%)	CWOC (%)	HWOC (%)	AC (mg/kg)	DOC (mg/L)	pH
B1	۱۷/۷۹ ^c	۸۴/۶۶ ^c	۱۸/۵۸ ^c	۰/۲۲ ^d	۰/۰۴ ^c	۰/۱۲ ^d	۱۱۹ ^c	۱۲/۴۰ ^d	۷/۲۹ ^a
B2	۲۳/۳۳ ^{bc}	۹۷/۶ ^{bc}	۲۳/۵۱ ^b	۰/۲۴ ^c	۰/۰۷ ^b	۰/۱۴ ^c	۱۳۳ ^b	۲۱/۱۸ ^c	۷/۲۲ ^b
B3	۳۱/۰۳ ^{ab}	۱۰۳ ^b	۲۶/۳۹ ^b	۰/۲۵ ^b	۰/۰۷ ^b	۰/۱۷ ^b	۱۴۹ ^b	۲۳/۷۱ ^b	۷/۱۷ ^c
B4	۴۲/۶۵ ^a	۱۲۸ ^a	۳۴/۸۷ ^a	۰/۲۷ ^a	۰/۱۰ ^a	۰/۲۲ ^a	۱۷۳ ^a	۳۲/۴۰ ^a	۷/۱۰ ^d

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نیستند.

B1: بدون مایه‌زنی (شاهد)، B2: انتروباکتر کلواسه R33، B3: انتروباکتر کلواسه R1 و B4: مخلوط دو باکتری، BR: تنفس پایه، qMic: بهره میکروبی، MBC: کربن زیتوده میکروبی، OC: کربن آلی، CWOC: کربن محلول در آب سرد، HWOC: کربن محلول در آب گرم، AC: کربن فعال، DOC: کربن آلی محلول

مقدار کربن قابل استخراج با آب داغ بیشتر از کربن قابل استخراج با آب سرد بود (جدول ۳) که نشان می‌دهد حلالیت ترکیبات آلی مختلف بستگی به دمای آب دارد. در روش استخراج با آب داغ سلول‌های رویشی ریزجانداران کشته شده و بسیاری از اجزای زی‌توده میکروبی و مواد آلی غیرمیکروبی استخراج می‌شوند. بنابراین مقدار کربن قابل استخراج با آب داغ بیشتر از کربن قابل استخراج با آب سرد است و نشان‌دهنده شدت تجزیه زیستی بالاتر کربن قابل استخراج با آب داغ است (۱۶). مقدار این دو ویژگی تحت تأثیر ترشحات متفاوت ریشه گیاهان مختلف و مقدار و نوع کربن ورودی به خاک قرار می‌گیرد.

کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات پتاسیم شامل مواد هومیکی قابل دسترس و پلی‌ساکاریدها است که تحت تأثیر استفاده‌های مختلف از خاک و مدیریت‌های متفاوت قرار می‌گیرد (۵ و ۹). مقدار این ویژگی تحت تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های مورد استفاده

نتایج مقایسه میانگین تأثیر سویه‌های مختلف باکتری نشان داد که بیشترین مقدار کربن آلی خاک به ترتیب در حضور مخلوط دو باکتری، انتروباکتر کلواسه R₁ و انتروباکتر کلواسه R₃₃ با مقدار ۲۲/۷، ۱۳/۶ و ۹ درصد افزایش نسبت به شاهد بود (جدول ۳). کربن آلی محلول (DOC) شامل گروه وسیعی از مولکول‌های ساده مانند اسیدهای آمینه ساده، قندها و چربی‌ها تا مواد هومیکی پیچیده با وزن مولکولی بالا است (۱۱). کربن آلی محلول به دلیل تحرک و انحلال نقش مهمی در انتقال مواد غذایی و همچنین آلاینده‌ها بازی می‌کند (۳۵). بیشترین مقدار کربن آلی محلول با افزایش ۴۵/۴ درصدی نسبت به شاهد در تیمار کاربرد همزمان دو باکتری به ترتیب اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

بیشترین مقدار کربن محلول در آب سرد و گرم در تیمار مخلوط دو باکتری نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

کرد که پایداری مواد آلی خاک (SOM) را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم کنترل می‌کند (۳۸). در ریزوسفر تغییراتی مانند اسیدی شدن، افزایش مقدار ماده آلی در هر دو فاز جامد و محلول خاک، با تغییرات در فعالیت و زی‌توده میکروبی در ارتباط است. ریزجانداران نقش مهمی در تجزیه و تخریب مواد آلی خاک و معدنی شدن آن دارند و با ادامه فرایند معدنی شدن ترکیبات پایدارتر مواد آلی در خاک تجمع می‌یابند. مطالعات نشان داده است pH خاک بر روند تجزیه مواد آلی، از طریق تأثیر بر فعالیت و ساختار جوامع میکروبی در خاک تأثیر می‌گذارد (۸ و ۳۱). زیست‌توده میکروبی خاک به‌واسطه فعالیت خود، اغلب کنترل‌کننده تغییر و تحول کربن خاک هستند. مطالعات نشان داده است تنفس پایه و کربن آلی خاک از شاخص‌های مهمی در ارزیابی فعالیت جمعیت میکروبی کل خاک است و نه تنها بیانگر وضعیت فعالیت میکروبی خاک است، بلکه مشخص‌کننده روند، تعادل و چگونگی تجزیه ماده آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه برخی عناصر غذایی در خاک است (۲۷).

تأثیر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سویه‌های مختلف باکتری بر مقدار کلروفیل، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، خوشه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد است (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین تأثیر سویه‌های باکتری بر شاخص کلروفیل نشان‌دهنده افزایش مقدار کلروفیل در تیمارهای دارای سویه‌های مختلف باکتری نسبت به شاهد بود و بیشترین مقدار کلروفیل به‌ترتیب در تیمار مخلوط دو باکتری، *انتروباکتر کلواسه R_۱* و *انتروباکتر کلواسه R_{۳۳}* نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) مشاهده شد (جدول ۵). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه ویژگی‌هایی مانند سطح برگ، مقدار کلروفیل و زیست‌توده گیاهی را افزایش می‌دهند (۴). لنین و جیانی مشاهده کردند که تلقیح گیاه *Catharanthus roseus* با سویه‌های مختلف باکتری محرک رشد گیاه

در پژوهش حاضر قرار گرفت. بیشترین مقدار کربن فعال در تیمار کاربرد همزمان دو باکتری با افزایش ۱۶۱/۳ درصدی نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۳). مواد هومیکی قابل دسترس و پلی‌ساکاریدها به‌عنوان منبع انرژی برای جامعه میکروبی خاک هستند (۳۷) که بالا بودن این ویژگی مقادیر بالاتر بهره میکروبی را در تیمار هر دو باکتری تأیید می‌کند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار تنفس پایه به‌ترتیب در حضور مخلوط دو باکتری، *انتروباکتر کلواسه R_۱*، *انتروباکتر کلواسه R_{۳۳}* بود (جدول ۳). همچنین بیشترین مقدار کربن زی‌توده میکروبی به‌ترتیب در حضور کاربرد همزمان دو باکتری، *انتروباکتر کلواسه R_۱*، *انتروباکتر کلواسه R_{۳۳}* با مقدار ۸۷/۶۷ و ۴۲ و ۲۶/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین مقدار بهره میکروبی در تیمار مخلوط دو باکتری با افزایش ۵۱/۲ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳). برای شناخت بهتر نقش ریزجانداران خاک توجه زیادی به بررسی تنفس و زیست‌توده میکروبی در خاک شده که تنفس خاک ناشی از تجزیه مواد آلی است (۲). برای ارزیابی تغییرات عملکردی خاک بهتر است پارامترهای زیست‌شیمیایی مثل تنفس میکروبی و کربن زی‌توده میکروبی که نشان‌دهنده تنوع، توزیع زیستی و چگونگی فعالیت ریزجانداران خاک هستند، استفاده شوند. کربن زی‌توده میکروبی به‌عنوان کربن فعال و قابل دسترس تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف قرار می‌گیرد (۹).

از طرفی نتایج مقایسه میانگین تأثیر سویه‌های مختلف باکتری بر مقدار pH خاک نشان داد که کاربرد سویه‌های مختلف باکتری موجب کاهش pH خاک شده است. بیشترین مقدار pH در تیمار شاهد (۷/۲) و کمترین مقدار آن در کاربرد همزمان *انتروباکتر کلواسه R_{۳۳}* و *انتروباکتر کلواسه R_۱* (۷/۱) مشاهده شد (جدول ۳).

مقدار pH خاک تا حد زیادی بر عملکرد محصول، رهاسازی مواد مغذی و فعالیت میکروبی خاک تأثیر می‌گذارد و می‌توان از آن برای پیش‌بینی ویژگی‌های زیستی خاکی استفاده

جدول ۴. میانگین مربعات اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم

منبع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل	ارتفاع	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خوشه	عملکرد دانه
تیمارها	۳	۱۶/۹۵**	۱۳/۸۳ ^{ns}	۰/۰۳**	۲/۸۸**	۳/۰۵**	۰/۹۴**
خطا	۲۰	۰/۶۶	۶/۱۵	۰/۰۰۱	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۲۰
ضریب تغییرات	-	۱/۸۳	۳/۰۵	۶/۸۲	۶/۱۶	۴/۰۹	۷/۴۴

ns و **: به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های مختلف گندم

تیمارها	کلروفیل	ارتفاع (cm)	وزن خشک ریشه (g/pot)	وزن خشک اندام هوایی (g/pot)	وزن خوشه	عملکرد دانه
B ₁	۴۲/۲۱ ^c	۷۹/۱۶ ^a	۰/۵۴ ^c	۶/۷۸ ^b	۷/۳۴ ^b	۵/۶ ^b
B ₂	۴۴/۳۶ ^b	۸۱/۱۶ ^a	۰/۵۸ ^{bc}	۸/۰۷ ^a	۸/۴ ^a	۵/۹۸ ^{ab}
B ₃	۴۵/۱۸ ^{ab}	۸۲ ^a	۰/۶۵ ^{ab}	۷/۹۹ ^a	۸/۷۶ ^a	۶/۲۶ ^{ab}
B ₄	۴۶/۱۶ ^a	۸۲/۶۶ ^a	۰/۶۹ ^a	۸/۳۴ ^a	۸/۹۳ ^a	۶/۵۲ ^a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نیستند.

سلامت اکوسیستم خاک را بهبود می‌بخشند (۲۴). تغییرات در زیست‌توده ریشه گیاه می‌تواند از طریق توسعه ریشه در خاک و تغییر فراوانی و ترکیب جمعیت میکروبی بر مقدار کربن خاک تأثیر گذارد. باکتری‌های محرک رشد با افزایش زیست‌توده گیاه و تحریک ریشه‌زایی از طریق تولید هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در جذب بیشتر مواد غذایی برای گیاه دارند (۳۳). فعالیت‌های ریشه گیاه شامل ترشح انواع ترکیبات آلی، جذب آب و عناصر غذایی و آزادسازی یون‌های هیدروژن و بی‌کربنات و برقراری ارتباط با ریزجانداران ریزسفری خاک موجب تغییرات در ویژگی‌های شیمیایی، از جمله pH و کربن آلی محلول در ریزوسفر خاک شده است و دسترسی عناصر برای جذب گیاه را افزایش می‌دهد (۳). قدم‌خانی و همکاران در پژوهشی تأثیر معنی‌دار/نتروباکتر کلواسه R_{۳۳} بر افزایش جذب پتاسیم و عملکرد دانه گندم را گزارش کردند (۱۴) همچنین مطالعه دیگری تأثیر/نتروباکتر کلواسه R_۱ را بر افزایش جذب پتاسیم و فسفر توسط گندم در مقایسه با شاهد (بدون مایه‌زنی)

Azotobacter chroococcum *Azospirillum lipoferum* و *Bacillus megaterium* و *Pseudomonas fluorescens* موجب افزایش محتوای کلروفیل و مواد مغذی مورد نیاز گیاه می‌شود (۲۱). افزایش درصد جوانه‌زنی، وزن خشک، سطح برگ و محتوای کلروفیل در لوبیا با استفاده از *P. fluorescens* گزارش شده است (۱۰). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد وزن خشک ریشه، اندام هوایی، خوشه و عملکرد دانه در تیمار کاربرد همزمان دو باکتری به ترتیب ۲۷/۷، ۲۳، ۲۱/۶۶ و ۱۶/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی) داشتند (جدول ۵). شرایط پژوهش حاضر نشان می‌دهد که باکتری‌های محرک رشد با افزایش فعالیت خود (تنفس پایه و بهره میکروبی) (جدول ۳)، افزایش توسعه ریشه (جدول ۵)، افزایش شکل‌های آلی کربن (جدول ۳) و کاهش جزئی pH خاک (جدول ۳) عملکرد گیاه (جدول ۵) را بهبود بخشیدند. سیستم ریشه‌ای فعال، به‌طور منظم موجب آزادسازی ترکیبات آلی به محیط ریشه گیاه می‌شود و باعث رشد و افزایش فعالیت جامعه میکروبی خاک شده و

جدول ۶. همبستگی میان ویژگی‌های زیستی و شکل‌های کربن، عملکرد دانه و pH خاک

عملکرد دانه	کربن آلی محلول	کربن فعال	کربن محلول در آب سرد	کربن محلول در آب گرم	بهره میکروبی	کربن زیتوده میکروبی	کربن آلی	تنفس پایه	
								۱	۰/۷۷**
								۱	۰/۷۷**
						۱	۰/۷۹**	۰/۸۹**	کربن زی‌توده میکروبی
					۱	۰/۹۶**	۰/۶۰**	۰/۸۲**	بهره میکروبی
				۱	۰/۵۴**	۰/۶۲**	۰/۶۵**	۰/۵۱**	کربن محلول در آب سرد
			۱	۰/۶۴**	۰/۷۹**	۰/۸۶**	۰/۷۷**	۰/۷۹**	کربن محلول در آب گرم
		۱	۰/۷۰**	۰/۶۴**	۰/۵۵**	۰/۷۰**	۰/۸۰**	۰/۷۹**	کربن فعال
	۱	۰/۷۳**	۰/۹۱**	۰/۷۱**	۰/۸۲**	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/۸۴**	کربن آلی محلول
۱	۰/۷۸**	۰/۷۴**	۰/۵۴**	۰/۴۹*	۰/۶۹**	۰/۷۸**	۰/۷۴**	۰/۸۱**	عملکرد دانه
۱	-۰/۸۱**	-۰/۹۳**	-۰/۸۳**	-۰/۸۴**	-۰/۶۷**	-۰/۸۲**	-۰/۹۱**	-۰/۸۹**	-۰/۸۵**
									pH

*, **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

نشان داد (۲۹).

و ۳۴). مقدار کربن قابل استخراج با آب داغ بیشتر از کربن زیتوده میکروبی بود که نشان می‌دهد کربن قابل استخراج با آب داغ نه تنها شامل کربن زیتوده میکروبی است همچنین ترشحات ریشه، کربوهیدرات‌های محلول و اسیدهای آمینه و آنزیم‌های خاک که در دمای ۸۰ درجه سلسیوس دگرگون می‌شوند را شامل می‌شود (۸). از طرفی نتایج نشان‌دهنده همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح یک درصد میان pH خاک، ویژگی‌های زیستی و شکل‌های آلی کربن بود.

مواد آلی خاک ارتباط و همبستگی بالایی با فعالیت‌های میکروبی دارد. میلنر و همکاران گزارش کردند سهم زیست‌توده میکروبی در شکل‌گیری ماده آلی خاک بسیار زیاد است (۲۶)، به طوری که به نظر می‌رسد حتی کربوهیدرات‌ها و پپتیدهای تولیدشده توسط ریزجانداران خاک، بخش قابل توجهی از مواد آلی محلول پایدار را تشکیل می‌دهند (۱۷). بخش محلول ماده آلی خاک معمولاً کمتر از دو درصد از ماده آلی خاک را شامل می‌شود اما به دلیل انحلال‌پذیری بالا و میزان گردش آن در خاک

همبستگی ویژگی‌های زیستی با شکل‌های آلی کربن در خاک

ضریب همبستگی میان ویژگی‌های زیستی و شکل‌های مختلف کربن (جدول ۶) نشان داد تنفس پایه با کربن آلی خاک، کربن زیتوده میکروبی، کربن محلول در آب سرد و گرم، کربن آلی محلول و کربن فعال خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد دارد. کربن زیتوده میکروبی نیز با تنفس پایه، کربن آلی، بهره میکروبی، کربن محلول در آب سرد و گرم، کربن آلی محلول و کربن فعال خاک همبستگی مثبت در سطح احتمال یک درصد نشان داد. همبستگی بین کربن زیتوده میکروبی با کربن قابل اکسید شدن با پرمنگنات پتاسیم به دلیل نحوه اندازه‌گیری آنها که بر اساس استخراج شیمیایی کربن قابل دسترس خاک است، کاملاً منطقی است (۱۳). قانی و همکاران و اسپارلینگ و همکاران همبستگی مثبتی بین کربن قابل استخراج با آب داغ و کربن زیتوده میکروبی گزارش کردند (۱۵)

توسعه کشاورزی پایدار است. استفاده از مایه تلقیح میکروبی موجب افزایش اجزای کربن در خاک و افزایش عملکرد گیاه شد. به طور کلی استفاده از مایه تلقیح باکتریایی موجب بهبود رشد گیاه و احتمالاً افزایش ترشحات ریشه گیاه و در نتیجه بهبود ویژگی‌های زیستی و حاصلخیزی خاک می‌شود که در نهایت بهبود ویژگی‌های خاک نیز سبب بهبود تغذیه گیاه و افزایش عملکرد می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل فراهم آوردن امکان انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.
(GN. SCU.AS98.248)

یکی از بخش‌های بسیار حساس و کاربردی است (۷). همبستگی معنی‌داری میان کربن زیتوده میکروبی و مقدار ماده آلی در خاک وجود دارد (۲۸). مطالعات مختلف همبستگی مثبت و بالای بین کربن زیتوده میکروبی، کربن آلی خاک، کربن محلول در آب سرد را گزارش کردند (۲۵). همچنین تغییرات در تنفس خاک ممکن است به شدت به مقدار کربن آلی خاک و کربن آلی محلول وابسته باشد (۳۱). با توجه همبستگی میان بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک شاید بتوان گفت که کربن آلی ساخته و رها شده تحت تأثیر ریزجانداران در خاک می‌تواند خود را در بخش‌های محلول نشان دهد (۳۲).

نتیجه‌گیری

مدیریت فرایندهای زیستی خاک، یکی از جنبه‌های کلیدی برای

منابع مورد استفاده

- Anderson, J. P. 1982. Soil respiration. PP. 831-871. In: Mille, R. H. and Keeney, D. R (Eds.), Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Anderson, T. H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98(1-3): 285-293.
- Bais, H. P., T. L. Weir, L. G. Perry, S. Gilroy and J. M. Vivanco. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology* 57: 233-266.
- Baset, M., Z. H. Shamsuddin, Z. Wahab and M. Marziah. 2010. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (pgpr) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured musa plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. *Australian Journal of Crop Science* 4(2): 85-95
- Blair, G. J., R. D. Lefroy and L. Lisle. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Crop Pasture Science* 46 (7): 1459-1466.
- Bolan, N. S., S. Baskaran and S. Thiagarajan. 1996. An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges, and stream water. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27(13-14): 2723-2737.
- Chantigny, M. H., T. Harrison-kirk, D. Curtin and M. Beare. 2014. Temperature and duration of extraction affect the biochemical composition of soil water extractable organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 75: 161-166.
- Cheshire, M. V. 1979. In Nature and Origin of Carbohydrates in Soils. Academic Press, London.
- Culman, S. W., S. S. Snapp, M. A. Freeman, M. E. Schipanski, J. Beniston, R. Lal, L. E. Drinkwater, A. J. Franzluebbbers, J. D. Glover, A. S. Grandy, J. Lee, S. B. Mirksy, J. T. Spargo and M. M. Wander. 2012. Permanganate oxidizable carbon reflects a processes soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of American Journal* 76(2): 494-504.
- Dutta, S., R. P. Singh and J. K. Jindal. 2012. Effect of antagonistic bacteria and plant defence activators on management of bacterial leaf spot of mung bean. *Indian Phytopathology* 58(3): 269-275.
- Egeberg, P. K., M. Eikenes and E. T. Gjessing. 1999. Organic nitrogen distribution in NOM size classes. *Environment International* 25(2-3): 225-236.
- Eslami Seyyedmahaleh, R., A. Landi, N. Enayatizamir and S. Hojati. 2017. Iron and potassium release from muscovite and vermiculite by some plant growth promoting bacteria. *Iranian Journal of Soil Research* 30(4): 487-496. (In Farsi).
- Geraei, D. S., S. Hojati, A. Landi and A. F. Cano. 2016. Total and labile forms of soil organic carbon as affected by land use change in southwestern Iran. *Geoderma Regional* 7(1): 29-37.

14. Ghadamkhani, A., N. Enayatizamir and M. Norouzi Masir. 2017. Effects of potassium solubilizing bacteria on potassium uptake and some growth indicators of wheat under greenhouse conditions. *Soil Management and Sustainable Production* 7(3):139-152. (In Farsi).
15. Ghani, A., M. Dexter and K. W. Perrott. 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.
16. Gregorich, E. G., M. H. Beare, U. Stoklas and P. St-Georges. 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize cropped soils. *Geoderma* 113: 237–252.
17. Guggenberger G., W. Zech and H. R. Schulten. 1994. Formation and mobilization pathways of dissolved organic-matter evidence from chemical structural studies of organic matter fractions in acid forest floor solutions. *Organic Geochemistry* 21(1): 51–66
18. Gupta, P. K. 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios India.
19. Kimura, M., J. Murase and Y. Lu. 2004. Carbon cycling in rice field ecosystems in the context of input: decomposition and translocation of organic materials and the fates of their end products (CO₂ and CH₄). *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1399–1416.
20. Kumar, A. and L. C. Rai. 2017. Soil organic carbon and availability of soil phosphorus regulate abundance of culturable phosphate solubilizing bacteria in paddy fields of the Indo-Gangetic Plain. *Pedosphere* 10(1): 1002–1016.
21. Lenin, G. and M. Jayanthi. 2012. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on enhancement of growth, yield and nutrient content of *Catharanthus roseus*. *International Journal of Research in Pure and Applied Microbiology* 2(4): 37-42.
22. Luo, Y., Z. Xueyong, A. Olof, Z. Yangchun and H. Wenda. 2014. Artificial root exudates and soil organic carbon mineralization in a degraded sandy grassland in northern China. *Journal of Arid Land* 6(4): 423–431.
23. Malakouti, M. J. and Gheibi, M.N. 2000. Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit for the quality and yield improvements in strategic crops of Iran. High Council for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture. Iran. (In Farsi).
24. Mandal A., A. K. Patra, D. Singh, A. Swarup and R. E. Masto. 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresource Technology* 98(18): 3585–3592.
25. Marinari, S., K. Liburdi, G. Masciandaro, B. Ceccanti and S. Grego. 2007. Humification-mineralization pyrolytic indices and carbon fractions of soil under organic and conventional management in central Italy. *Soil Tillage Research* 92: 10-17.
26. Miltner, A., R. Kindler, H. Knicker, H. H. Richnow and M. Ka`stner. 2009. Fate of microbial biomass derived amino acids in soil and their contribution to soil organic matter. *Organic Geochemistry* 40: 978-985.
27. Nannipieri, P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. PP. 238-244. In: Pankhurst C. E., Doube B. M., Gupta V. V. S. R. and Grace P. R. (Ed). *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. CSIRO Publications. Melbourne, Australia.
28. Piao, H. C., G. S. Liu, Y. Y. Wu and W. B. Xu. 2001. Relationships of soil microbial biomass carbon and organic carbon with environmental parameters in mountainous soils of southwest China. *Biology and Fertility of Soils* 33(4): 347-350.
29. Pirhadi, M., N. Enayatizamir, H. Motamedi and K. Sorkheh. 2018. Impact of soil salinity on diversity and community of sugarcane endophytic plant growth promoting bacteria (*Saccharum officinarum* L. Var. CP48). *Applied Ecology and Environmental Research* 16(1): 725-739.
30. Raiesi F and E. Asadi. 2006. Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. *Biology and Fertility of Soils* 43(1): 76–82.
31. Ren, C., T. Wang, Y. Xu, J. Deng, F. Zhao, G. Yang, X. Han, Y. Feng and G. Ren. 2018. Differential soil microbial community responses to the linkage of soil organic carbon fractions with respiration across land-use changes. *Forest Ecology and Management* 409: 170-178.
32. Safari Sinegani, A. A. and M. Afzalpour. 2014. Effect of application of plant residues on chemical and biological fractions of organic carbon in soil. *Soil Management and Sustainable Production* 4(3): 33-60. (In Farsi).
33. Shrivastava, S., D. Egamberdieva and A. Varma 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants: The State of the Art. Pp. 1-16, In: Egamberdieva D, Shrivastava S, Varma A (Ed). *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants*. Springer International Publishing. Springer, New York.
34. Sparling, G. P., M. Vojvodic-Vukovic and L. A. Schipper. 1998. Hot-water soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationships with microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1469–1472.
35. Van den Berg, L. J. L., L. Shotbolt and M. R. Ashmore 2012. Dissolved organic carbon (DOC) concentrations in UK soils and the influence of soil, vegetation type and seasonality. *Science of the Total Environment* 427-428: 269-276.
36. Vance, E. D., P. C. Brookes and D. S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass

- C. *Soil Biology and Biochemistry* 19(6): 703-707.
37. Wright, A. L., F. M. Hons and J. E. Matocha Jr. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology* 29(1): 85-92.
38. Zhalnina, K., R. Dias, P. D. de Quadros, A. Davis-Richardson, F. A. Camargo, I. M. Clark, S. P. McGrath, P. R. Hirsch and E. W. Triplett. 2015. Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment. *Microbial Ecolog* 69(2): 395-406.

The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Some Biological Indicators and Soil Organic Carbon Forms under Wheat Cultivation

N. Enayatizamir*, M. Norouzi Masir and A. Ghadamkhani¹

(Received: April 16-2018 ; Accepted: April 30-2019)

Abstract

The soil organic matter plays an important role in increasing agricultural products and various nutrient cycle in the soil due to its effect on the physical, chemical and biological properties of soil. There is, however, little information regarding the effect of growth promoting bacteria on biological indices and different forms of carbon in agricultural soils of the country. Therefore, this study was aimed to investigate the effect of plant growth promoting bacteria on soil respiration, microbial quotient, organic carbon, microbial carbon biomass, permanganate oxidizable carbon, cold water extractable organic C, and hot water extractable organic C under the cultivation of wheat, Chamran cultivar. The experiment was conducted in greenhouse condition as a randomized complete design with 9 replications. Treatments consisted of bacterium inoculation (without inoculation, *Enterobacter cloacae Rhizo_33*, *Enterobacter cloacae Rhizo_R1* and mix of both bacteria). During the experiment, some characteristics such as plant height and chlorophyll index were measured. At the end of the cultivation period, root and aerial part dry weight and grain yield were determined. Biological properties and different forms of carbon in the soil were measured after cultivation. The results indicated the applied plant growth promoting bacteria increased chlorophyll index, height, root and shoot dry weight and grain yield, as compared to the control. The minimum value of pH and the highest amount of each carbon forms were obtained by soil inoculation with different strains of bacteria, as compared to the control. The highest value of organic carbon was observed in the presence of the consortium of both bacteria with 22.7% increase, as compared to the control. The highest amount of microbial carbon biomass was, respectively, measured in the treatments containing consortium of bacteria, *Enterobacter cloacae Rhizo_R1*, *Enterobacter cloacae Rhizo_33* with 87.67, 42 and 26.5% increment, as compared to the control. A positive and significant correlation was observed between cold and hot water extractable organic carbon, dissolved organic carbon and permanganate oxidizable carbon with soil respiration and there was a negative correlation between mentioned properties and the soil pH. The use of microbial inoculants increased the carbon content of the soil, which can play a positive role for improvement of physical and chemical properties of the soil and plant yield.

Keywords: Bacterium, Biomass, Dissolved carbon, Respiration, Yield

1. Soil Science Department, Agriculture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author: n.enayatizamir@scu.ac.ir