نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هشتم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر باکتری‌های محرک رشد و کاربرد کلرید سدیم بر رشد رویشی گندم و برخی از شاخص‌های زیستی خاک

*علی‌اشرف سلطانی طولارود[1]، راحله وفادار[2]، اکبر قویدل[1] و اسماعیل گلی‌کلانپا[1]
[1]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه محقق اردبیلی،
[2]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه محقق اردبیلی
تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۵

چکیده

سابقه و هدف: تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر افزایش عملکرد گندم اثبات شده است؛ با وجود این، تأثیر این باکتری‌ها بر کیفیت زیستی خاک به‌ویژه در شرایط وجود تنش در خاک از جمله تنش شوری، کم‌تر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر پارامترهای رویشی گیاه گندم و بهبود شاخص‌های زیستی خاک زیر کشت این گیاه تحت شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر برخی شاخص‌های زیستی خاک و پارامترهای رشد گندم رقم گاسپارد در شرایط تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل شوری در چهار سطح: شاهد، ٦، ۸ و ۱۰ (دسی‌زیمنس در متر) و مایه‌زنی باکتری در سه سطح (مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس*، مایه‌زنی بذر با *سودوموناس پوتیدا* و بدون مایه‌زنی) بود. پس از پایان آزمایش (سه ماه)، گیاهان برداشت و برخی از پارمترهای عملکرد گیاه (مانند حجم ریشه، ارتفاع گیاه، وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی) و شاخص‌های زیستی خاک بستر کشت (مانند کربن زیتوده میکروبی، تنفس پایه و تحریک شده) اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری شاخص‌های زیستی خاک و پارامترهای رشد گیاه مورد مطالعه در این پژوهش کاهش یافت؛ اما کاربرد باکتری‌ها باعث افزایش پارامترهای رشد گیاه شدند. مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا* به‌ترتیب موجب افزایش ۸۳ درصد و ۲۵ درصد در حجم ریشه، ۳۸ درصد و ۷ درصد در وزن خشک ریشه، ۵۲ درصد و ۵۰ درصد در وزن تر ریشه نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی در شوری ٦ دسی‌زیمنس در متر گردید. همچنین بیش‌ترین کربن زیتوده میکروبی (۱۹۹۷ میلی‌گرم کربن میکروبی بر کیلوگرم خاک) در شرایط مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* در شوری ٦ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد. مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* در شرایط بدون شوری توانست کربن زیتوده میکروبی خاک را از ۹۸۷ به ۱۷٦۵ میلی‌گرم کربن میکروبی بر کیلوگرم خاک برساند. درتمام سطوح شوری، مایه‌زنی با هر دو باکتری موجب افزایش معنی‌دار تنفس پایه و برانگیخته نسبت به شرایط بدون مایه‌زنی شد.

* مسئول مکاتبه: ali_soltani_t@yahoo.com

نتیجه‌گیری: می‌توان نتیجه گرفت که حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه، نه تنها پارامترهای رشد و عملکرد گندم را در شرایط تنش شوری افزایش می‌دهد، بلکه این باکتری‌ها شاخص‌های زیستی خاک مانند کربن زیتوده میکروبی، تنفس پایه و تنفس برانگیخته خاک را نیز بهبود بخشیده و از این طریق به‌طور غیرمستقیم شرایط رشد گیاه را بهبود داده و موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، تنفس میکروبی، *سودوموناس پوتیدا*، *سودوموناس فلورسنس*، کربن زیتوده میکروبی

مقدمه

گندم محصولی راهبردی است که نقش اساسی در تأمین غذای اکثریت جمعیت جهان داشته و حدود ۳۰ درصد از کل غلات تولیدی جهان را تشکیل می‌دهد. به‌دلیل این اهمیت ویژه، کاشت گندم سطح وسیعی از اراضی دنیا را به خود اختصاص داده است (۱). شوری خاک یکی از اصلی‌ترین تنش‌های محیطی تأثیرگذار بر رشد گیاهان و محصولات تولیدی آن‌ها است (۲). برآوردها نشان می‌دهد که بیش از ۲۰ درصد از کل زمین‌های زراعی دنیا به درجات مختلف مبتلا به شوری هستند که به نحوی رشد گیاهان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند و تأثیر این تنش در مناطق خشک و نیمه‌خشک شدیدتر است. بیش‌ترین میزان زمین‌های شور در آسیا پس از روسیه، چین، هند و پاکستان متعلق به ایران است (۳). زیادی غلظت املاح یا شوری با سازوکارهای مختلف مانند فشار اسمزی، سمیت ویژه یونی و عدم تعادل تغذیه‌ای، علاوه بر کاهش فرآهمی آب، باعث کاهش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در اثر غلظت بیش‌ازحد یون‌های سدیم و کلر شده و در نتیجه موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (٤). علاوه بر این، تنش شوری مانند سایر تنش‌های دیگر (سرما، گرما، فلزات سنگین و ...) از طریق افزایش سطح هورمون اتیلن در گیاه، باعث کاهش رشد ریشه و رشد عمومی گیاه می‌شود (۵).

روش‌های مختلفی برای مقابله با تنش شوری در خاک های متأثر از نمک پیشنهاد شده است. آبشویی، مدیریت مناسب آبیاری و کشت، استفاده از ارقام گیاهی مقاوم به شوری، دست‌کاری ژنتیکی و شناسایی و استفاده از راهکارهای زیستی یعنی استفاده از ریزموجودات مفید خاکزی از جمله روش‌های مورد استفاده در مدیریت کشت گیاه در خاک‌های شور می‌باشد (۵، ٦ و ۷). از مهم‌ترین ریزموجودات مفید خاکزی که جهت مایه‌زنی بذر یا گیاهچه برای تسهیل رشد گیاهان در شرایط شور استفاده می‌شود، می‌توان به قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)[1] اشاره کرد. باکتری‌های آزادزی ریزوسفر را که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود رشد و سلامت گیاه می‌شوند، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌نامند (۸). در روش غیرمستقیم بیمارگرهای گیاهی را تعدیل نموده و به این طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند؛ اما در روش مستقیم این باکتری‌ها با تثبیت آزادزی نیتروژن، تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه، مانند هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکینین، جیبرلین)، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مثل فسفر و پتاسیم از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، تولید سیدروفورها و افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن و تولید آنزیم ACC دآمیناز مؤثر در کاهش اثرات سوء اتیلن تنشی، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (۹). در میان باکتری‌های محرک رشد گیاه، گروه سودوموناس‌های فلورسنت به‌دلیل توانایی در تولید دامنه وسیعی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، ترکیبات کلات‌کننده آهن،

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

تولید اسیدهای آلی (اسید سوکسینیک و لاکتیک) و در نهایت کنترل زیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی دارای اهمیت فراوان می‌باشند. تعداد زیادی از باکتری‌های PGPR با توانایی آنزیم ACC دآمیناز، پیش‌ماده تولید اتیلن در گیاه یعنی ACC را به آمونیوم و آلفاکتوبوتیرات هیدرولیز کرده و مانع تولید بیش‌ازحد اتیلن تولیدشده در شرایط تنش در گیاه و کاهش رشد ریشه می‌شوند (۱۰).

پژوهشگران زیادی اثرات مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه را در کاهش تنش و در نتیجه افزایش رشد در شرایط تنش‌زا مثل شرایط غرقاب (۱۱)، آلودگی به فلزات سنگین (۱۲)، حضور بیمارگرهای گیاهی (۱۳)، شوری و خشکی بالا (۵ و ۷) را گزارش نموده‌اند. زهیر و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند باکتری‌های جنس *سودوموناس* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک با تولید مقادیر قابل‌توجهی هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین و جیبرلین و سیتوکنین رشد و نمو و عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۱٤).

بلیمو و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که عملکرد دانه و رشد ریشه گیاهان مایه‌زنی یافته با باکتری‌های محرک رشد به‌دلیل افزایش فعالیت ACC دآمیناز بهبود یافت و مایه‌زنی کلزا با *Pseudomonas Putida* دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز شرایط تنش دما (سردی هوا) و شوری، طویل شدن ریشه‌ها و افزایش رشد را به همراه داشت (۱۵).

پژوهش‌های فراوانی روی اثر باکتری‌های محرک رشد بر رشد گندم در شرایط شوری انجام گرفته است. ولی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه روی شاخص‌های زیستی خاک و ارتباط آن با رشد گیاه به‌ویژه در خاک‌های شور کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این‌که شاخص‌های زیستی نشان‌دهنده کیفیت و حاصلخیزی خاک می‌باشند، انتظار می‌رود به‌کارگیری باکتری محرک رشد گیاه با تأثیر مثبت بر شاخص‌های زیستی خاک موجب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود کیفیت خاک شود. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر باکترهای *سودموناس پوتیدا* و *سودوموناس فلورسنس* بر شاخص‌های زیستی خاک، بهبود کیفیت خاک و افزایش رشد گندم رقم گاسپارد در یک خاک شور انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه خاک و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک: در این پژوهش، چند نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر از خاک‌های کشاورزی نقاط مختلف استان اردبیل تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. مقداری از نمونه خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت اندازه‌گیری برخی خواص فیزیکی و شیمیایی استفاده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱٦)، قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش خاک (pH) در عصاره گل اشباع (۱۷)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۱٦)، فسفر قابل‌استخراج به روش اولسن (۱۸)، پتاسیم قابل‌استخراج توسط استات آمونیوم ۱ مولار، کربن آلی به روش والکی- بلک (۱۹) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (۱۷) اندازه‌گیری شد. در نهایت بر اساس نتایج اندازه‌گیری خواص مذکور، از بین چهار نمونه، یک نمونه خاک که خصوصیات آن در قسمت نتایج ذکر شده است برای آزمایش گلخانه‌ای انتخاب گردید.

تهیه باکتری‌ها و مایه‌زنی بذر گندم: در این پژوهش باکتری‌های محرک رشد *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدای* (۲۰) جداسازی‌شده از خاک ریزوسفری گیاه کلزا و دارای توانایی بالا از نظر برخی صفات محرک رشدی (تولید هورمون اکسین، آنزیم

ACC دآمیناز، تولید سیدروفور بالا و حل‌کنندگی فسفات‌های معدنی نامحلول) از کلکسیون میکروبی دانشگاه تهران انتخاب و استفاده شد. به‌ازای هر سویه باکتری، یک ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت براث تهیه گردید. برای تهیه مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته شد و تحت شرایط استریل به یک ارلن حاوی محیط کشت اضافه گردید. ارلن تلقیح‌شده با هر باکتری روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از ٤۸ ساعت مایه تلقیح سویه‌ها با جمعیت تقریبی 9×10^{8} (بر اساس استاندارد مک‌فارلند) آماده مصرف بودند.

بذر گندم (*Triticum aestivum*) رقم گاسپارد که از مرکز تحقیقات کشاورزی استان اردبیل تهیه شده بود با استفاده از الکل ۹٦ درصد به‌مدت یک دقیقه و سپس هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به‌مدت یک دقیقه استریل سطحی شد. سپس به‌منظور حذف هیپوکلریت سدیم، بذرها با آب مقطر استریل ۱۰ بار شستشو شدند. سپس بذرهای استریل سطحی شده به ارلن‌های حاوی مایه تلقیح باکتری‌های مورد مطالعه اضافه و به‌مدت ٤۵ دقیقه بر روی شیکر با دور ۱۲۰ و دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از طی زمان مذکور، در زیر هود زیستی بذرها از داخل ارلن خارج و به‌منظور جذب کامل باکتری‌ها روی سطح بذر و حذف رطوبت اضافی بر روی فویل آلومینیوم استریل پخش گردید.

اعمال تیمارهای شوری: به‌منظور ایجاد شوری‌های ٦، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس در متر در عصاره اشباع خاک مورد مطالعه، به‌ترتیب ۳/۸٤۰، ۵/۱۲ و ٦/٤ گرم نمک NaCl به‌ازای هر کیلوگرم خاک هوا خشک عبور داده شده از الک ٤/۷۵ میلی‌متری توزین و در یک لیتر آب مقطر مخلوط و بعد از انحلال کامل نمک در آب، محلول نمک به گلدان‌های موردنظر اضافه گردید. به‌منظور کامل شدن واکنش‌های شیمیایی، گلدان‌های حاوی سه کیلوگرم خاک دارای غلظت‌های مختلف نمک به‌مدت یک ماه در دمای آزمایشگاه نگه‌داری شدند و در این مدت رطوبت گلدان‌ها در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه حفظ گردید. شایان ذکر است که قبل از اعمال تیمارها، میزان نمک مورد نیاز برای رسیدن به شوری موردنظر در هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک طی آزمایش‌های متعددی اندازه‌گیری و کالیبره شد.

کاشت گیاه و اندازه‌گیری خصوصیات رشدی گندم: تعداد ۸ بذر گندم در هر گلدان کشت شده و پس از رشد، تعداد ۳ گیاه در هر گلدان نگهداری شد. در طول مدت رشد گیاه، آبیاری با استفاده از آب مقطر انجام و رطوبت گلدان‌ها در محدوده ۷۰ تا ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. دمای گلخانه ۳±۲٤ سلسیوس و طول دوره روشنایی ۱٦ ساعت و طول دوره تاریکی ۸ ساعت تنظیم شد. پس از سه ماه، برداشت صورت گرفت. پیش از برداشت، ارتفاع گیاهان با خط‌کش اندازه‌گیری و سپس قسمت هوایی هر گیاه از نزدیک سطح خاک قطع گردید. به‌منظور تعیین وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه، ریشه و بخش هوایی گیاهان موجود در هر گلدان برداشت و وزن تر ریشه و اندام هوایی با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها، در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. حجم ریشه پس از شستشوی ریشه‌ها با فرو بردن ریشه‌های هر گیاه درون استوانه مدرج حاوی آب مقطر و ثبت افزایش حجم آب ناشی از ورود ریشه، اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی: برای اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی خاک، به هنگام برداشت گندم، از خاک ناحیه ریشه یک نمونه خاک تهیه گردید. کربن زیتوده میکروبی در ۲۵ گرم از خاک ریزوسفری به روش تدخین- استخراج اندازگیری شد (۲۱). جهت اندازه‌گیری تنفس میکروبی، مقدار ۲۰ گرم از خاک ریزوسفری از هر تکرار را داخل ظروف درپوش‌دار ریخته و یک بشر حاوی ۲۰ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۰/۰۵ نرمال در داخل ظروف درپوش‌دار قرار داده شد. سپس در ظرف را بسته و به‌مدت ۲٤ ساعت داخل انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شد. بعد از ۲٤ ساعت، محتویات بشر (هیدروکسید سدیم) را داخل ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و ۲ میلی‌لیتر کلرید باریم ۰/۵ مولار به آن اضافه و با HCL ۰/۱ نرمال تیتر شد (۲۱). جهت اندازه‌گیری تنفس برانگیخته [1](SIR)، مقدار یک میلی‌لیتر از گلوکز یک درصد را همراه با ۳ میلی‌لیتر آب مقطر به‌عنوان سوبسترا به نمونه‌های خاک در ظرف پلاستیکی اضافه و داخل انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌مدت ٦ ساعت نگهداری شد. سپس طبق روشی که برای تنفس میکروبی خاک قید گردید عمل تیتراسیون انجام و مقدار تنفس برانگیخته محاسبه گردید (۲۱).

طرح آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل شوری در چهار سطح (شاهد)، ۳/۸٤۰، ۵/۱۲ و ٦/٤ گرم نمک کلرید سدیم به‌ازای هر کیلوگرم خاک هوا خشک به‌ترتیب معادل شاهد، ٦، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس در متر)، باکتری در سه سطح (شاهد (بدون مایه‌زنی)، مایه‌زنی بذر با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و مایه‌زنی بذر با باکتری *سودوموناس فلورسنس*) بود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از برنامه SAS ویرایش ۹/۱ انجام گرفت. سپس مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار MS-Excel 2013 انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس این جدول، خاک مورد استفاده pH قلیایی، بافت لومی داشته و میزان فسفر و پتاسیم قابل‌استفاده گیاه آن به‌ترتیب برابر ۲۲ و ۹۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد که بیش از حد بحرانی گزارش شده برای این عناصر است. میزان قابلیت الکتریکی عصاره گل اشباع کم‌تر از ٤ دسی‌زیمنس در متر بود (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil.

پتاسیم K	فسفر P	pH	EC	نیتروژن کل Total Nitrogen	کربنات کلسیم معادل Calcium Carbonate Equivalent	کربن آلی Organic Carbon	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت Texture
(mg.kg^{-1})			(dS.m^{-1})	درصد (%)						
920	22	7.65	3.8	0.19	1.25	0.97	41.3	33	25.7	Loam

1- Substrate-induced respiration

اثر مایه‌زنی باکتری و شوری بر پارامترهای رشد گندم

حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ نشان داد اثرات متقابل مایه‌زنی با باکتری و شوری بر حجم ریشه معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود. بیش‌ترین و کم‌ترین حجم ریشه به‌ترتیب در ترکیب تیماری مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* و تیمار بدون مایه‌زنی بذر با باکتری به‌دست آمد (جدول ۳). باکتری‌ها، با کاهش اثر اتیلن تنشی و با تولید هورمون‌های محرک رشد، حجم ریشه را افزایش می‌دهند (۲۲). آنونزیاتا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که ریشه گندم با شرایط شوری سازش یافته و حجم آن کاهش یافت.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه.

Table 2. Variance analysis of the effect of bacterial inoculation, salinity and their interactions on root volume, fresh weight and dry weight of root.

وزن خشک ریشه Root Dry Weight	وزن تر ریشه Root Fresh Weight	حجم ریشه Root Volume	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.327**	13.7**	2.62**	3	شوری Salinity
0.014**	1.14**	2.69**	2	باکتری Bacteria
0.008**	2.43**	2.99**	6	شوری * باکتری Salinity*Bacteria
0.001	1.17	0.065	24	خطا Error
7.2	10.7	5.06	-	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation

ns، ** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ns, ** and * not significant, significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین مایه‌زنی بذر با باکتری در سطوح مختلف شوری بر برخی خصوصیات رشدی گیاه.

Table 3. Mean Comparison of seed inoculation with bacteria at different levels of salinity on some of plant growth parameters.

وزن خشک ریشه Root Dry Weight (g per pot)	وزن تر ریشه Root Fresh Weight (g per pot)	حجم ریشه Root Volume (cm^3 per pot)	سطوح مایه‌زنی Inoculation Levels	سطوح شوری Salinity Levels
0.73^{a}	5.11^{a}	5.33^{cd}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	شاهد Control
0.67^{a}	5.24^{a}	5.75^{bc}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.69^{a}	4.65^{ab}	6.25^{b}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
0.53^{b}	3.6^{cd}	3.75^{g}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	6 ($dS.m^{-1}$)
0.68^{a}	5.42^{a}	4.68^{ef}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.73^{a}	5.47^{a}	6.85^{a}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

وزن خشک ریشه Root Dry Weight (g per pot)	وزن تر ریشه Root Fresh Weight (g per pot)	حجم ریشه Root Volume (cm^3 per pot)	سطوح مایه‌زنی Inoculation Levels	سطوح شوری Salinity Levels
0.31^{d}	2.12^{e}	4.16^{fg}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	8 ($dS.m^{-1}$)
0.33^{cd}	2.64^{de}	4.5^{ef}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.36^{cd}	2.73^{de}	5^{ef}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
0.33^{cd}	1.8^{e}	4.25^{fg}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	10 ($dS.m^{-1}$)
0.35^{cd}	3.62^{cd}	4.08^{fg}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.38^{c}	4.1^{bc}	5.87^{bc}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

وزن تر و خشک ریشه گیاه: نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ نشان داد که اثرات متقابل شوری و مایه‌زنی بذر بر وزن تر و خشک ریشه گیاه معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شوری وزن تر و خشک ریشه کاهش و با کاربرد باکتری افزایش یافت (٦). بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* در شوری ٦ دسی‌زیمنس در متر مشاهده گردید. کم‌ترین وزن تر و خشک ریشه در ترکیب‌های تیماری بدون مایه‌زنی بذر با باکتری در شوری ۸ دسی‌زیمنس در متر و بدون مایه‌زنی بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر برآورد گردید. تیمار با شوری ۸ دسی‌زیمنس در متر بیش‌ترین اثر را در کاهش وزن تر ریشه داشت. در شوری ۸ دسی‌زیمنس در متر گیاه دچار تنش شدید شده ولی با افزایش شوری به ۱۰ دسی‌زیمنس در متر تا حدودی نسبت به تنش مقاومت یافته است. این موضوع احتمالاً می‌تواند به‌دلیل سازگاری گیاه به تنش باشد. شوری با افزایش فشار اسمزی و تنش اتیلنی رشد گیاه را کاهش داده و در نهایت وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. اما حضور باکتری باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه شد. باکتری‌های *سودوموناس پوتیدا* و *سودوموناس فلورسنس* با افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد وزن تر و خشک ریشه را افزایش داده‌اند. فریتاس و همکاران (۱۹۹۲) اثر مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس* بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تلیقیح با این باکتری، وزن تر و خشک ریشه گندم را نسبت به شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (۲۳).

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات متقابل مایه‌زنی باکتری و شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ٤). بیش‌ترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی در ترکیب‌های تیماری مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* و پوتیدا بدون اعمال شوری و

کم‌ترین مقدار این دو صفت در ترکیب تیماری بدون مایه‌زنی بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر به‌دست آمد. با افزایش شوری کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی مشاهده گردید (جدول ۵). با افزایش تنش شوری، سمیت یونی حاصل از افزایش عناصر زیان‌بار که سبب اختلال در همه فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی گیاهان می‌شود، در نهایت منجر به از بین رفتن و یا کاهش شدید اندام هوایی می‌شود (٢٤). از دیگر عوامل کاهش وزن اندام‌های هوایی، مصرف بیش از حد انرژی جهت تولید برخی از مواد آلی که نقش پایدارسازی تعادل اسمزی که با جذب یون‌ها انجام می‌دهند را می‌توان نام برد. کوثر و شهزاد (٢٠٠٦) بیان کردند که با تلقیح ذرت با باکتری *سودوموناس* (*فلورسنس* و *پوتیدا*) در شرایط تنش شوری، وزن اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که در شوری ٦ دسی‌زیمنس در متر، با تلقیح باکتری *سودوموناس فلورسنس*، وزن تر اندام هوایی ۱۳/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۲۵). در این پژوهش نیز در تیمار ٦ دسی‌زیمنس در متر شوری وزن تر اندام هوایی گندم در حضور *باکتری‌های سودوموناس فلورسنس و پوتیدا* به‌ترتیب ۵۸/۸ و ١٦/۹ درصد نسبت به عدم حضور باکتری افزایش یافت. افزایش وزن خشک اندام هوایی به دنبال کاربرد باکتری‌های محرک رشد توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (۹، ۱۱، ٢٦ و ۲۷). غلامی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کرد وزن خشک اندام هوایی گیاهچه‌های ذرت با استفاده از باکتری‌های *سودوموناس*، افزایش معنی‌داری داشته است (۲۷). همچنین پژوهشگران دریافتند که باکتری *Pseudomonas putida* UW4 با توانایی تولید آنزیم ACC دآمیناز به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی کلزا را در شرایط شور تا ۵ برابر افزایش داد، در حالی‌که سویه موتانت UW4 فاقد فعالیت ACC دآمیناز رشد گیاه را افزایش نداد (۲۸). باکتری‌های *سودوموناس پوتیدا* و *سودوموناس فلورسنس* نیز جزء باکتری‌های است که دارای توانایی تولید آنزیم ACC دآمیناز هستند بنابراین یکی از دلایل افزایش وزن خشک اندام هوایی به وجود آنزیم ACC دآمیناز نسبت داد. همچنین این باکتری‌ها با تعدیل اثر شوری و افزایش هورمون‌های محرک رشد (از جمله اکسین و جبیرلین) وزن خشک اندام هوایی را افزایش داده‌اند.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه.

Table 4. Variance analysis of bacterial inoculation, salinity and their interactions on fresh shoot and dry shoot and plant height.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot Fresh Weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot Dry Weight	ارتفاع بوته Shoot Height
شوری Salinity	3	440**	36.3**	282**
باکتری Bacteria	2	273**	2.54**	10.6**
شوری * باکتری Saliniy*Bacteria	6	11**	1.02**	3.61**
خطا Error	24	1.53	0.279	0.91
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation	-	5.9	9.92	2.94

ns، ** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ns, ** and * not significant, significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین مایه‌زنی بذر با باکتری در سطوح مختلف شوری بر برخی دیگر خصوصیات مورفولوژیکی.

Table 5. Mean Comparison of average seed inoculation with bacteria in different levels of salinity on some other morphological characteristics.

ارتفاع بوته Shoot Height (cm per pot)	وزن خشک اندام Shoot Dry Weight (g per pot)	وزن تر اندام هوایی Shoot Fresh Weight (g per pot)	سطوح مایه‌زنی Inoculation Levels	سطوح شوری Salinity Levels
40.6^{a}	6.76^{a}	26.8^{cd}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	شاهد Control
40.5^{a}	6.78^{a}	28.4^{bc}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
40.2^{a}	6.32^{ab}	31.5^{a}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
29.8^{cd}	4.08^{c}	19^{f}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	6 ($dS.m^{-1}$)
31.1^{c}	5.58^{b}	22.3^{e}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
33.6^{b}	6.15^{ab}	30.2^{ab}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
30^{cd}	2.58^{de}	11.6^{gh}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	8 ($dS.m^{-1}$)
29.6^{cd}	3.11^{d}	13.9^{g}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
30.4^{c}	4.12^{c}	24.2^{de}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
25.7^{e}	1.85^{e}	10.5^{h}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	10 ($dS.m^{-1}$)
27.7^{de}	2.22^{de}	11.5^{gh}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
29.4^{cd}	2.31^{de}	18.4^{f}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

ارتفاع گیاه: نتایج تجزیه واریانس جدول ٤ نشان داد که اثرات متقابل مایه‌زنی با باکتری و شوری بر ارتفاع گیاه معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) بود. به‌طوری‌که ارتفاع گیاه در ترکیب‌های تیماری بدون مایه‌زنی بذر با باکتری بدون اعمال شوری، مایه‌زنی بذر با *سودوموناس پوتیدا* بدون اعمال شوری و مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* بدون اعمال شوری بیش‌ترین مقدار بود. کم‌ترین ارتفاع گیاه در ترکیب تیماری بدون مایه‌زنی بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر برآورد گردید. نتایج میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح شوری ارتفاع گیاه کاهش‌یافته اما کاربرد باکتری ارتفاع گیاه را افزایش داده است (جدول ۵). زهیر و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که تحت تنش شوری، تلقیح بذر گندم با باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد. باکتری‌های محرک رشد از طریق

سازوکارهای مختلفی همچون تولید هورمون‌های گیاهی (۸)، تولید آنزیم ACC دآمیناز در گیاهان در تحریک رشد و افزایش ارتفاع بوته گیاهان نقش ایفا می‌کنند (۲۹).

اثر شوری و مایه‌زنی بذر با باکتری بر شاخص‌های زیستی خاک

کربن زیتوده میکروبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات متقابل مایه‌زنی با باکتری و شوری بر کربن زیتوده میکروبی معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شوری کربن زیتوده میکروبی کاهش‌یافته که حضور باکتری به‌طوری معنی‌داری این شاخص را افزایش داده است (جدول ۷). بیش‌ترین کربن زیتوده میکروبی در ترکیب‌های تیماری مایه‌زنی بذر با *سودوموناس پوتیدا* بدون اعمال شوری، مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* بدون اعمال شوری و مایه‌زنی بذر با *سودوموناس پوتیدا* در شوری ٦ دسی‌زیمنس در متر به‌ترتیب به‌میزان ۱٦٦٦/۷، ۱۷٦٥/۹ و ۱۹۹۷/۹ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک بود که با همدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. به‌عبارت دیگر، در تیمار شاهد شوری در حضور باکتری *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا*، میزان کربن زیتوده میکروبی به‌ترتیب برابر ٦۸/۷ و ۷۸/۸ درصد نسبت به عدم حضور باکتری افزایش یافته است. کم‌ترین مقدار کربن زیتوده میکروبی در ترکیب تیماری بدون مایه‌زنی بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر بود (جدول ۷) که با نتایج پاتک و راو (۱۹۹۸) در انطباق است. آن‌ها گزارش کردند زیتوده میکروبی خاک با افزایش شوری کاهش یافت (۳۰). در خاک شور، معمولاً فشار اسمزی رشد و فعالیت میکروبی محدود می‌کند، در حالی‌که در شرایط سدیمی، سمیت یونی و شرایط نامطلوب pH ممکن است رشد میکروبی را محدود کنند (۳۰). لوپز و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی که بر تنوع متابولیت در خاک با راهکارهای زیستی انجام دادند، کاهش کم‌تر زیتوده میکروبی در شرایط تنش در تیمارهای که با باکتری مایه‌زنی شده بودند به تولید ترکیبات و متابولیت‌های خاص این ریزجانداران و گیاهان همزیست با آن‌ها و بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک نسبت دادند (۳۱).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی باکتری، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر کربن زیتوده میکروبی، تنفس پایه و برانگیخته.

Table 6. Variance analysis of bacterial inoculation, salinity and their interactions on microbial biomass carbon, basal and substrate-induced respiration.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کربن زیتوده میکروبی	تنفس پایه Basal Respiration	تنفس برانگیخته Substrate-Induced Respiration
شوری Salinity	3	2382871**	0.052**	0.028**
باکتری Bacteria	2	1308172**	0.068**	0.674**
شوری * باکتری Saliniy*Bacteria	6	167544**	0.002**	0.019**
خطا Error	24	30517	0.001	0.004
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation	-	17.62	4.59	8.69

ns، ** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ns, ** and * not significant, significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین مایه‌زنی بذر با باکتری در سطوح مختلف شوری بر کربن زیتوده میکروبی، تنفس پایه و برانگیخته.

Table 7. Meancomparison of average seed inoculation with bacteria in different levels of salinity on microbial biomass carbon, basal and substrate-induced respiration.

تنفس برانگیخته Substrate-Induced Respiration (mg CO_2.g^{-1} dry soil. hr^{-1})	تنفس پایه Basal Respiration (mg CO_2.g^{-1} dry soil. Day^{-1})	کربن زیتوده میکروبی (mg C_{mic}.Kg^{-1} Dry soil)	سطوح مایه‌زنی Inoculation Levels	سطوح شوری Salinity Levels
0.594^{cd}	0.466^{de}	987^{bc}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	شاهد Control
0.914^{ab}	0.657^{a}	1666^{a}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.999^{a}	0.584^{b}	1765^{a}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
0.544^{cde}	0.513^{cd}	965^{cb}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	6 ($dS.m^{-1}$)
0.635^{c}	0.597^{b}	1997^{a}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.954^{ab}	0.568^{bc}	1216^{b}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
0.448^{de}	0.433^{e}	460^{d}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	8 ($dS.m^{-1}$)
0.812^{b}	0.587^{b}	698^{cd}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
0.912^{ab}	0.539^{bc}	686^{cd}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	
0.414^{e}	0.307^{f}	900^{bc}	بدون مایه‌زنی باکتری no Inoculation	10 ($dS.m^{-1}$)
0.811^{b}	0.465^{de}	713^{cd}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* Inoculation with *P. putida*	
1.01^{a}	0.435^{de}	642^{cd}	مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* Inoculation with *P. flourscens*	

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

تنفس پایه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل مایه‌زنی با باکتری و شوری بر تنفس پایه معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تنفس پایه در ترکیب تیماری مایه‌زنی بذر با *سودوموناس پوتیدا* بدون اعمال شوری و کم‌ترین تنفس پایه در ترکیب تیماری بدون مایه‌زنی بذر باکتری در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش شوری تنفس پایه کاهش یافته ولی حضور باکتری باعث افزایش تنفس پایه شده است (جدول ۷). کاهش تنفس میکروبی با افزایش سطوح شوری خاک را می‌توان به نقش منفی شوری خاک بر جمعیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آن‌ها و افزایش تنفس پایه به نقش باکتری‌ها در کاهش اثرات منفی شوری و

افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آن‌ها نسبت داد. از طرفی ترشح مواد محرک رشد گیاه از سوی باکتری موجب افزایش رشد گیاه و تنفس ریشه می‌شود. ساردینا و همکاران (۲۰۰۳) نیز کاهش تنفس خاک از ٤١/٧ به ١٦/٣ میکروگرم کربن در هر گرم خاک را با افزایش سطح شوری از ۲/۲ به ۱۳/۲ میلی‌گرم نمک در گرم خاک گزارش نمودند (۳۲) که با نتایج این پژوهش مطابقت می‌کند.

تنفس برانگیخته (SIR): نتایج تجزیه واریانس (جدول ٦) نشان داد که اثرات متقابل مایه‌زنی با باکتری و شوری بر تنفس برانگیخته معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین تنفس برانگیخته در ترکیب‌های تیماری مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* بدون اعمال شوری و مایه‌زنی بذر با *سودوموناس فلورسنس* در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر بود و کم‌ترین مقدار تنفس برانگیخته در ترکیب تیماری بدون مایه‌زنی بذر با باکتری در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر بود (جدول ۷). اثر شوری بر این شاخص به‌دلیل محدودشدن جمعیت ریزجانداران به‌خصوص فعالیت باکتری‌ها در اثر بالا رفتن غلظت املاح محلول خاک است. با افزایش شوری ممکن است عوامل دیگری از جمله کاهش فراهمی سوبسترا، اثر چشم‌گیری در کاهش تنفس برانگیخته داشته در سطوح بالای شوری داشته باشد. در حالی‌که حضور باکتری با افزایش فعالیت ریزجانداران و بهبود شرایط خاک باعث افزایش تنفس تحریک می‌شود. به‌طوری حضور باکتری *سودوموناس فلورسنس* باعث شده که تنفس برانگیخته در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس در متر در بیش‌ترین مقدار (١/٠١٤ میلی‌گرم کربن بر گرم خاک در یک روز) خود باشد. در حالی‌که مقدار تنفس برانگیخته در این سطح در ترکیب تیماری بدون مایه‌زنی باکتری در کم‌ترین مقدار (٠/٤١٤ میلی‌گرم کربن بر گرم خاک در یک روز) قرار داشت. کاهش معنی‌دار تنفس برانگیخته با افزایش شوری بیانگر آن است که سوبسترای اضافه‌شده (گلوکز) برای مصرف ریزجانداران خاک به سهولت در دسترس نبوده است (۳۳).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری، شاخص‌های زیستی خاک و پارامترهای رشد گندم را کاهش داد، در حالی‌که مایه‌زنی بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا* تأثیر مثبت بر افزایش رشد گیاه و شاخص‌های زیستی خاک داشت. از آن‌جایی‌که رابطه دوطرفه بین گیاه و خاک وجود دارد هر تغییری در خاک سبب تغییر در گیاه می‌شود، افزایش شاخص‌های زیستی سبب ترشحات ریشه گیاه شده و این ترشحات تأثیر مثبت بر حاصلخیزی خاک داشته و موجب افزایش رشد گیاه شده است. می‌توان نتیجه گرفت که در صورت بروز تنش شوری در خاک، می‌توان با به کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه موجب ارتقای شاخص‌های زیستی خاک شده و از این طریق باعث مقاومت و تحمل گیاه در مقابل این تنش شده و در نهایت رشد و عملکرد گیاه را افزایش داد. همچنین می‌توان انتظار داشت که بهبود شاخص‌های زیستی خاک و حاصلخیزی بیولوژیک خاک بتواند در نیل به اهداف کشاورزی پایدار مفید واقع شود.

منابع

1. Carver, B.F. 2009. Wheat: science and trade. John Wiley & Sons. New York, 616p.
2. Allakhverdiev, S.I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y., Inaba, M., and Murata, N. 2000. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in Synechococcus sp. Plant physiology. 123: 3. 1047-56.
3. Moud, A.M., and Maghsoudi, K. 2008. Salt stress effects on respiration and growth of germinated seeds of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. World J. Agric. Sci. 4: 3. 351-358.
4. Ahmad, I., Pichtel, J., and Hayat, S. 2008. Plant-bacteria Interactions: Strategies and Techniques to promote plant growth: John Wiley & Sons. New York, 330p.
5. Mayak, S., Tirosh, T., and Glick, B.R. 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry. 42: 6. 565-572.
6. Bacilio, M., Rodriguez, H., Moreno, M., Hernandez, J.P., and Bashan, Y. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged Azospirillum lipoferum. Biology and Fertility of Soils. 40: 3. 188-93.
7. Mayak, S., Tirosh, T., and Glick, B.R. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. Plant Science. 166: 2. 525-530.
8. Zahir, Z.A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S.M., and Asghar, H.N. 2009. Comparative effectiveness of Pseudomonas and Serratia sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. Archives of Microbiology. 191: 5. 415-424.
9. Glick, B.R., Patten, C.L., Holguin, G., and Penrose, D. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. World Scientific, Singapore. 276p.
10. Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., and Arshad, M. 2007. Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through inoculation with rhizobacteria containing ACC deaminase activity. Can. J. Microbiol. 53: 10. 1141-1149.
11. Grichko, V.P., and Glick, B.R. 2001. Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containingplant growth-promoting bacteria. Plant Physiology and Biochemistry. 39: 1. 11-7.
12. Belimov, A., Hontzeas, N., Safronova, V., Demchinskaya, S., Piluzza, G., Bullitta, S., and Glick, B.R. 2005. Cadmium-tolerant plant growth-promoting bacteria associated with the roots of Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern.). Soil Biology and Biochemistry. 37: 2. 241-250.
13. Wang, D., Shannon, M., and Grieve, C. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. Field Crops Research. 69: 3. 267-277.
14. Zahir, Z.A., Arshad, M., and Frankenberger, W.T. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy. 81: 97-168.
15. Belimov, A.A., Safronova, V.I., and Mimura, T. 2002. Response of spring rape (*Brassica napus var. oleifera* L.) to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria containing 1- aminocyclopropane- 1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Can. J. Microbiol. 48: 3. 189-199.
16. Gupta, A., Gopal, M., and Tilak, K. 2000. Mechanism of plant growth promotion by rhizobacteria. Ind. J. Exper. Biol. 38: 856-863.
17. Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis: Prentice-Hall, Inc.; Englewood Cliffs. NJ. 498p.
18. Olsen, S., and Sommers, L. 1982. Phosphorus in Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiolgial Properties. Agronomy Monograph. 1159p.
19. Nelson, R.E., and Sommers, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: Keeney, D.R., Baker, D.E., Miller, R.H., Ellis, R.J. and Rhoades., J.D., Eds., Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science, Madison, Pp: 539-580.

20. Abbszadeh, P. 2006. Isolation and Identification of plant grwoth promoting flourscent Pseudomonas and the study of thier impact on grwoth and yield of Rapeseed. Iran: M.Sc. Thesis at University of Tehran. (Translated in Persian)
21. Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., and Margesin, R. 2012. Methods in Soil Biology: Springer Berlin Heidelberg. 426p.
22. Annunziata, M.G., Ciarmiello, L.F., Woodrow, P., Maximova, E., Fuggi, A., and Carillo, P. 2017. Durum Wheat Roots Adapt to Salinity Remodeling the Cellular Content of Nitrogen Metabolites and Sucrose. Frontiers in Plant Science. 7: 1-16.
23. de Freitas, J.R., and Germida, J.J. 1992. Growth promotion of winter wheat by fluorescent pseudomonads under field conditions. Soil Biology and Biochemistry. 24: 11. 1137-1146.
24. Gorham, J. 1995. Mechanism of salt tolerance of halophytes. Halophytes and biosaline agriculture. CRC Press, New York. 424p.
25. Kausar, R., and Shahzad, S. 2006. Effect of ACC-deaminase containing rhizobacteria on growth promotion of maize under salinity stress. J. Agric. Soc. Sci. 2: 4. 216-218.
26. Celebi, S.Z., Demir, S., Celebi, R., Durak, E.D., and Yilmaz, I.H. 2010. The effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) applications on the silage maize (*Zea mays* L.) yield in different irrigation regimes. Europ. J. Soil Biol. 46: 5. 302-305.
27. Gholami, A., Shahsavani, S., and Nezarat, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. Inter. J. Biol. Life Sci. 1: 1. 35-40.
28. Cheng, Z., Park, E., and Glick, B.R. 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from Pseudomonas putida UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. Can. J. Microbiol. 53: 7. 912-918.
29. Larsen, J., Cornejo, P., and Barea, J.M. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices and the plant growth promoting rhizobacteria Paenibacillus polymyxa and P. macerans in the mycorrhizosphere of Cucumis sativus. Soil Biology and Biochemistry. 41: 2. 286-292.
30. Pathak, H., and Rao, D. 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biology and Biochemistry. 30: 6. 695-702.
31. Lopes, E.B.M. 2001. Diversidade metabólica em solo tratado com biossólidos. Ph.D. Dissertation, Universidade de São Paulo, Brazil.
32. Sardinha, M., Müller, T., Schmeisky, H., and Joergensen, R.G. 2003. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. Applied Soil Ecology. 23: 3. 237-244.
33. 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.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 8(4), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of Plant Growth Promoting (PGPR) and the Application of Sodium Chloride on Growth of Wheat and Some of Soil Biological Indices

***A.A. Soltani Toolarood[1], R. Vafadar[2], A. Ghavidel[1] and E. Goli Kalanpa[1]**
[1]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
Received: 11.09.2017; Accepted: 08.27.2018

Abstract

Background and Objectives: The effect of plant growth promoting bacteria on increasing wheat yield has been demonstrated. Nevertheless, the effect of these bacteria on soil biological quality particularly in the stress conditions such as soil salinity was seldom studied. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of growth enhancer bacteria on growth parameters of Wheat and biological indices of soil under cultivation of this plant and salinity condition.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of inoculation with plant growth promoting bacteria (*PGPB*) on some soil biological indices and wheat growth parameters under salinity stress, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replications. The factors were salinity at four levels, control, 6, 8 and 10 $dS.m^{-1}$, inoculation with plant growth promoting bacteria at three level, no-inoculation and inoculation with *Pseudomonas putida* and inoculation with *Pseudomonas fluoresces*. After the growth period, the plants were harvested and some yield parameters (such as parameters such as the root volume, root and shoot fresh and dry weight) and Biological indicators of soil (like Microbial Respiration and Microbial Biomass Carbon) were measured.

Results: The results showed that the soil biological indices and plant growth parameters significantly decreased as the soil salinity increased; however inoculation with the bacteria significantly increased plant growth parameters. The inoculation with *P. fluorescens* and *P.putida* compared to the control (without inoculation) increased root volume by 83% and 25%, root dry weight by 38% and 7% and root fresh weight by 52% and 50%, in the salinity level of 6 $dS.m^{-1}$ respectively. The highest microbial biomass carbon (1997 mg C_{mic}. Kg^{-1} dry soil) was observed in inoculation with *P. putida*. Inoculation with *P. fluorescens* could also increase soil microbial biomass carbon in the control from 987 to 1765 mg C_{mic}. Kg^{-1} dry soil. Compared to no-inoculation, inoculation with both bacteria in all salinity levels increased soil basal respiration and substrate-induced respiration.

Conclusion: It could be concluded that the presence of plant growth promoting bacteria not only increased plant growth parameters under salinity stress, but also they improved soil biological indices such as soil microbial biomass carbon, basal respiration and substrate-induced respiration and thereby indirectly enhanced plant growth conditions and increased plant yield quantity and quality.

Keywords: Microbial Biomass Carbon, Microbial Respiration, *Pseudomonas fluoresces*, *Pseudomonas putida,* Salinity stress

* Corresponding Author; Email: ali_soltani_t@yahoo.com