اثر تلقیح باکتری *Pseudomonas flourescens* FY32 بر برخی ویژگی‌های ارقام کلزا تحت تنش شوری در سیستم هیدروپونیک

مرتضی بازیار[۱]، علی بنده‌حق[۱*]، داود فرج زاده[۲]، محمود تورچی[۱] و فرزاد بنایی اصل[۱]

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۹

چکیده

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی و یکی از عوامل کاهش‌دهنده اثرهای مضر تنش‌های غیرزیستی، از جمله شوری، شناخته می‌شوند که می‌توانند سبب افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصول بیشتر شوند. این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر تلقیح باکتری *Pseudomonas flourescens* FY32 بر برخی خصوصیات ارقام کلزا در شرایط تنش شوری، به صورت طرح کرت‌های دو بار خرد شده در سه تکرار در سیستم کشت هیدروپونیک انجام شد. شش رقم کلزا به‌صورت تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری *P. flourescens* تحت تنش نمک کلرید سدیم (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار) به‌همراه شاهد قرار گرفتند. بر اساس تجزیه داده‌ها، تلقیح باکتری با ارقام کلزا در سطوح مختلف تنش شوری، نسبت به تیمارهای تلقیح نشده، در مورد صفات وزن تر بوته، وزن خشک برگ، ریشه و کل، سطح برگ و طول ریشه اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، اثر متقابل سه جانبه شوری، باکتری و رقم برای صفات حجم ریشه و ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم و غلظت پرولین برگ و ریشه نیز در گیاهان تلقیح شده با باکتری اختلاف معنی‌داری با گیاهان تلقیح نشده در سطوح مختلف تنش شوری داشت. بیشترین غلظت یون پتاسیم و اسید آمینه پرولین متعلق به ارقام کلزای تلقیح شده با باکتری *سودوموناس فلورسنس* در هر دو سطح تنش بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که تلقیح بوته‌های کلزا با باکتری *P. flourescens* (حاوی ژن ACC- دآمیناز) می‌تواند رشد و نمو گیاه را در شرایط تنش شوری بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد، ریزوباکتر، پرولین

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در سطح جهان مطرح می‌باشد و بعد از سویا و نخل روغنی، مقام سوم را در تأمین روغن نباتی دارد (۷). امروزه، دانه کلزا به‌علت داشتن حدود ۴۰ الی ۴۸ درصد روغن و ۳۸ الی ۴۵ درصد پروتئین در کنجاله مورد توجه روزافزون قرار گرفته است (۶).

شوری در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌عنوان یک مشکل اساسی و عامل محدودکننده رشد، کیفیت و عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود (۳۴). از آنجایی که کلرید سدیم محلول‌ترین و فراوان‌ترین نمک موجود می‌باشد، شگفت‌آور نیست که تمامی گیاهان مکانیسم‌هایی را به منظور کنترل انباشت آن اتخاذ نمایند (۳۳). مکانیسم‌های مختلفی وجود دارند که در تحمل شوری مؤثر هستند و شامل توزیع یکنواخت یون‌های نمکی سمی در داخل واکوئل‌های سلول، تجمع یون‌های متعادل‌کننده اسمزی در داخل سیتوپلاسم، قابلیت کاهش جذب کلر یا سدیم توسط ریشه‌ها و عدم انتقال کلر یا سدیم به قسمت‌های هوایی می‌باشند (۲۲).

۱. گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲. گروه زیست شناسی- سلولی ملکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:bandehhagh@tabrizu.ac.ir

روش‌های مختلفی برای مقابله با تنش شوری، از جمله آب شویی خاک‌های شور، مدیریت مناسب آبیاری و کشت، استفاده از ارقام گیاهی مقاوم به شوری و کاربرد میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی وجود دارد. از مهم‌ترین ریزموجودات مفید خاک‌زی، می‌توان به باکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant growth promoting rhizobacteria, PGRB) اشاره کرد (۹). یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌هایی که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه برای تحریک رشد گیاهان و مقابله با اثرهای سوء تنش شوری از آن استفاده می‌کنند از طریق فعالیت آنزیم ACC- دآمیناز (1-Aminocyclopropane-1-carboxylate, ACC) می‌باشد. باکتری‌های حاوی این آنزیم، با تجزیه پیش‌ماده اتیلن گیاهی (ACC)، غلظت آن را در گیاه تحت تنش کاهش داده و در نتیجه گیاه را در مقابل اثرهای مضر ناشی از سطوح بالای اتیلن (اتیلن تنشی) حفظ می‌کنند (۲۰). یکی دیگر از آثار مفید باکتری‌های PGPR افزایش رشد رویشی گیاهان می‌باشد که مورد توجه بسیاری از محققین بوده است (۲۴). چن و همکاران (۱۷) سویه‌هایی از باکتری‌های محرک رشد گیاه را از ریشه گیاه کلزا و از منطقه ریزوسفری جداسازی کردند و با تلقیح پنج سویه از آن‌ها با ارقام کلزا، گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی و رشد رویشی بوته‌ها افزایش یافته و افزایش ۱۱/۵ درصدی در عملکرد ارقام مشاهده شد.

با عنایت به گسترش روزافزون خاک‌های شور و اهمیت تولید محصولات در این شرایط، و با توجه به نقش باکتری سودوموناس فلورسنس در تحریک رشد و نمو گیاهان در شرایط تنش شوری، و همچنین در راستای تعیین ارقام تلقیح‌پذیر، این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر تلقیح باکتری *Pseudomonas flourescens* FY32 بر برخی خصوصیات ارقام کلزا در شرایط تنش شوری در سیستم کشت هیدروپونیک انجام شد.

مواد و روش

به منظور بررسی تأثیر تلقیح باکتری سودوموناس فلورسنس (*P. fluorescens* FY32) بر برخی خصوصیات ارقام کلزا در شرایط تنش شوری، این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای (گلخانه تحقیقاتی گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز) و در قالب طرح کرت‌های دو بار خرد شده، با طرح پایه کاملاً تصادفی، در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی تنش شوری در سه سطح (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم)، فاکتور فرعی تلقیح با باکتری (تیمار شاهد و سویه سودوموناس فلورسنس) و فاکتور فرعی فرعی ارقام کلزا در شش سطح (Hyola308، Sarigol، RGS003، Amica، Hyola420 و Olga) بود.

آزمایش به‌صورت سیستم هیدروپونیک انجام شد. در این سیستم، کنترل دقیق شرایط محیط رشد گیاهچه‌ها مانند میزان pH و هدایت الکتریکی با دقت بسیار زیاد امکان‌پذیر می‌باشد. سیستم انتخابی از نوع بسته جاری و کشت درون‌ماسه‌ای بود که مشخصات بخش‌های مختلف آن به شرح زیر می‌باشد: بستر کشت به طول ۳۵۰ سانتی‌متر، حجم بستر کشت و محلول غذایی به ترتیب ۱۰۰ و ۵۵ لیتر و بستر کشت شامل ماسه شسته شده به قطر ۲-۳ میلی‌متر.

محلول غذایی مورد استفاده هوگلند تغییر یافته بود که با کمی تغییرات برای گیاه کلزا مورد استفاده قرار گرفت (۱۲). محلول‌های پایه برای هر بار مصرف به‌صورت تازه تهیه شدند. pH مخازن به صورت روزانه کنترل می‌شد و سعی می‌گردید که در حدود ۶/۵±۰/۵ ثابت نگه داشته شود. برای تنظیم pH از اسید کلریدریک و پتاس استفاده گردید. در طول تغذیه ریشه‌ها، هوادهی ریشه‌ها نیز صورت گرفت. تعویض محلول غذایی هر ۱۵ روز یکبار انجام شد.

بذرهای ارقام کلزا قبل از کشت در ظروف مخصوص کشت، ضدعفونی شدند. یک هفته بعد از کشت بذرها، گیاهچه‌ها در بستر کشت نشا شدند. یک روز بعد از نشای گیاهچه‌ها، باکتری سودوموناس فلورسنس، سویه FY32، جهت تلقیح با ریشه گیاهچه‌ها در محلول غذایی تزریق شد. باکتری مورد نظر از بانک میکروبی آزمایشگاه میکروبیولوژی گروه زیست-

شناسی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تأمین شد (۲۰). مایه تلقیح باکتری با جمعیت تقریبی $۱۰^{۷}$ (Colony forming units, cfu /ml) به هر مخزن اضافه شد. جهت بررسی صحت تلقیح گیاهچه‌ها با باکتری مورد نظر، یک هفته بعد از تلقیح باکتری به سیستم کشت، نمونه‌گیری‌هایی به صورت تصادفی از ریشه گیاهچه‌ها صورت گرفت و بعد از آزمایش‌های مختلف، تلقیح باکتری مورد نظر با ریشه گیاهان نشا شده تأیید شد. تنش شوری پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها اعمال شد.

وزن تر، ارتفاع بوته و طول ریشه در نمونه‌های گیاهی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. وزن خشک نمونه‌ها نیز بعد از قرار دادن آن‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. همچنین، حجم ریشه‌ها با اندازه‌گیری اختلاف حجم آب قبل و بعد از قرار دادن آن‌ها در مژور مدرج محاسبه شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج (LI-COR Biosciences, USA, Model LI-3100C) استفاده شد. تعیین غلظت پرولین برگ و ریشه به روش بیتس و همکاران (۱۳) صورت گرفت. غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم ریشه به وسیله دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید (۱۰). تجزیه‌های آماری با استفاده از برنامه‌های آماری SPSS و MSTAT-C و رسم نمودارها به کمک Excel انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان وزن تر و خشک یکی از مهم‌ترین معیارهای سنجش میزان مقاومت به تنش‌های غیر زیستی است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش شوری و باکتری برای صفات وزن تر و وزن خشک برگ، ریشه و وزن خشک کل بوته در سطح ۱٪معنی‌دار بود. بین ارقام مختلف کلزا نیز برای صفات مذکور در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بر اساس مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، بین سطوح مختلف تنش برای صفت وزن تر و خشک برگ، ریشه و کل، بیشترین وزن مربوط به سطح شاهد و کمترین وزن به تنش شدید تعلق داشت. همچنین، گیاهان تلقیح شده با باکتری بیشترین وزن تر و خشک (برگ، ریشه و کل) را نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. در بین ارقام مختلف کلزا، بیشترین وزن تر بوته مربوط به ارقام RGS003 و Hyola308 و بیشترین وزن خشک برگ و کل مربوط به ارقام RGS003، Amica و Hyola308 و برای وزن خشک ریشه، ارقام RGS003، Sarigol و Hyola308 بود.

افزایش شدت تنش، به‌واسطه کاهش پتانسیل خاک و کاهش جذب آب، موجب کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (۳۵). از دلایل دیگر کاهش رشد و وزن خشک در شرایط شوری، می‌توان به تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و نیز عدم توازن یونی در گیاهان اشاره کرد (۳). باکتری‌های PGPR از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، که نتیجه آن بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه است، تأثیر روی بهبود جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه، تولید برخی ترکیبات آنتی‌بیوتیک، حذف عوامل بیماری‌زا و القای ژن‌های دفاعی گیاه، باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (۳۹). ارزانش و همکاران (۱) نشان دادند که تلقیح سویه‌های مختلفی از باکتری‌های محرک رشد گیاه با ارقام کلزا می‌تواند اثر تنش شوری را روی وزن تر و خشک برگ و ساقه گیاه به طور معنی‌داری کاهش دهد. چنگ و همکاران (۱۸) در تحقیقی، دریافتند که باکتری‌های سودوموناس با توانایی تولید آنزیم ACC – دآمیناز به طور معنی‌داری وزن تر و خشک اندام‌های هوایی کلزا را در شرایط شور افزایش می‌دهند.

بر اساس تجزیه داده‌ها (جدول ۱) شاخص سطح برگ در سطوح مختلف شوری و باکتری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و همچنین بین ارقام مختلف از لحاظ این صفت اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که با افزایش سطح تنش، سطح برگ کاهش می‌یابد. گیاهان تلقیح شده با باکتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده، از سطح برگ

جدول۱. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ارقام کلزا تلقیح شده با باکتری *P. fluorescens* FY32 تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		وزن تر بوته	وزن خشک برگ‌ها	وزن خشک ریشه	وزن خشک کل	سطح برگ	طول ریشه	حجم ریشه	ارتفاع بوته
شوری	۲	۵۹/۷۱۰**	۱/۳۸۸**	۰/۰۵۳**	۲/۹۸۲**	۱۱۹۷۱/۳۷۰**	۱۵۶۱/۸۱۵*	۲/۰۸۳**	۴۰۲۲/۹۷۶**
خطا	۶	۰/۲۴۱	۰/۰۳۲	۰/۰۰۲	۰/۰۳۰	۱۱۶/۷۰۰	۲۱۹/۴۳۵	۰/۰۱۱	۷۰/۳۰۸
باکتری	۱	۴/۷۳۸**	۰/۲۳۴**	۰/۰۲۰**	۰/۶۵۴**	۱۰۰/۷۸۵**	۶۱۱/۵۶۵*	۰/۳۶۹*	۱۷۲/۲۶۸*
شوری × باکتری	۲	۱/۱۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۳۳/۳۱۳	۴۶/۷۰۴	۰/۰۱۱	۱۲/۵۸
خطا	۶	۰/۵۴۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	۲۰/۷۵۵	۵۲/۹۹۱	۰/۰۸۸	۱۸/۸۸۹
رقم	۵	۱۲/۷۳۱**	۰/۱۸۱**	۰/۰۰۵**	۰/۳۳۷**	۱۹۷۴/۹۱۹**	۷۵۲/۰۷۶**	۰/۵۴۰**	۳۳۰۸/۰۳۲**
شوری × رقم	۱۰	۱/۳	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۲۷	۱۲۷/۲۷۷	۸۷/۳۸۱	۰/۲۷۴**	۱۵۱/۵۰۵**
باکتری × رقم	۵	۱/۳۵۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۲۳۹/۹۳۶	۵۵/۸۵۴	۰/۰۲۸	۲۰۰/۲۵۸**
شوری × باکتری × رقم	۱۰	۰/۹۷۱	۰/۰۳۸	۰/۰۰۲	۰/۰۴۳	۳۲/۵۲۱	۲۹/۸۲۶	۰/۱۶۰**	۱۴۳/۰۹**
خطا	۶۰	۱/۰۳۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۷۰	۱۹۸/۰۵۳	۹۰/۲۱۳	۰/۰۴۴	۳۶/۳۲
ضریب تغییرات(٪)	–	۱۸/۴۸	۲۷/۹۶	۲۳/۰۶	۲۶/۲۸	۱۲/۷۴	۱۱/۰۹	۲۲/۲۳	۱۵/۷۳

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ادامه جدول ۱

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		پرولین برگ	پرولین ریشه	سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	نسبت سدیم / پتاسیم
شوری	۲	۱۲۷۷۲/۹۰۵**	۲۹۸۷۰/۲۶۱**	۳۱۵۶/۱۴۷**	۲۰۱۲/۹۴۳**	۲۶/۹۷۸**
خطا	۶	۳۷۷/۸۷۷	۷۸۷/۴۱۷	۳۷/۱۳۴	۲۰/۹۵۷	۰/۳۲۶
باکتری	۱	۸۴۱۳/۵۳۷**	۲۰۹۰۰/۷۲۶**	۱۵۸/۱۳۵**	۴۱/۱۱۲**	۱/۳۳۳**
شوری × باکتری	۲	۲۶۸۱/۱۵۴**	۶۹۳۴/۲۲۳**	۲۶/۰۱۸**	۱۲/۱۹۹**	۰/۴۳۷**
خطا	۶	۱۵۹/۶۰۵	۳۵۹/۶۲۸	۰/۷۳۹	۱/۰۴۹	۰/۰۲۸
رقم	۱	۱۷۸/۷۷۵	۶۶۶/۷۸۴	۲۴۲۳/۴۱۲**	۸۳۰/۵۰۶**	۳۶/۸۸۹**
شوری × رقم	۲	۱۶۸/۷۰۴	۶۰۰/۸۹۷	۸۱۳/۵۴۶**	۳۴۵/۴۱۵**	۱۴/۲۷۴**
باکتری × رقم	۱	۲۸/۲۱۰	۱۸۸/۲۷۰	۱۲/۸۱۴	۱/۰۵۴	۰/۲۴۰
شوری × باکتری × رقم	۲	۳۵/۱۰۱	۱۵۹/۴۵۸	۵/۴۹۳	۱/۷۵۸	۰/۱۸۸
خطا	۱۲	۱۵۶/۰۵۳	۳۲۷/۲۶۳	۳/۷۴۱	۱/۰۷۹	۰/۰۸۴
ضریب تغییرات(٪)	–	۲۷/۳۶	۲۵/۷۰	۵/۵۵	۵/۸۲	۱۹/۷۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

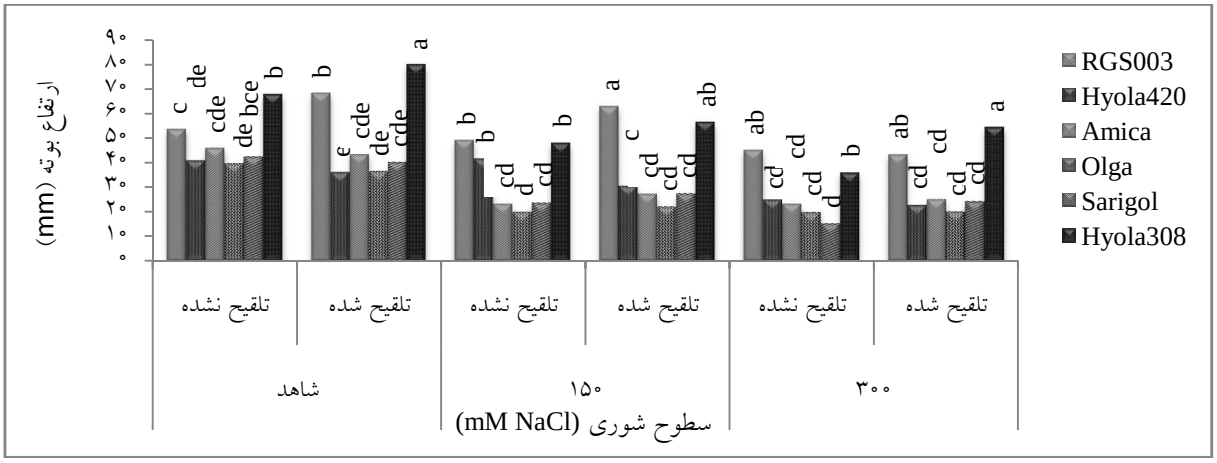
جدول۲. میانگین صفات مورفولوژیک ارقام کلزا تلقیح شده با باکتری *P. fluorescens* FY32 تحت تنش شوری

تیمارها	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک برگ‌ها (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک کل (گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	طول ریشه (میلی‌متر)	حجم ریشه (میلی‌لیتر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)
سطوح تنش (mM NaCl)								
۰ (شاهد)	٦/٧٥۴a	۰/۹۱۹a	۰/۱۵۸a	۱/۳۰۴a	۱۳۱/۳٦۳a	۹۲/۱۳۹a	۱/۱۵۴a	۴۹/۹۱a
۱۵۰	۵/۵۸۳b	۰/۷۱۴b	۰/۱۴۸b	۰/۹۹۱b	۱۰۲/۳۲۸b	۸۵/۹۱۷b	۰/۹۹۲b	۳۵/۷۸b
۳۰۰	۴/۱۸۲c	۰/۵۲٦c	۰/۰۸۸c	۰/۷۲۹c	۹۷/۷۳۲c	۷۸/۹۷۲c	۰/٦۸۱c	۲۹/۲۳c
باکتری								
بدون تلقیح	۵/۲۹۷b	۰/٦۷۳b	۰/۱۱۸b	۰/۹۳۰b	۱۰۹/۵۰۹b	۸۳/۲۹۱b	۰/۸۸۴b	۳۷/۰۴b
تلقیح شده	۵/۷۱٦a	۰/۷٦٦a	۰/۱۴۵a	۱/۰۸٦a	۱۱۱/۴۴۱a	۸۸/۰۵٦a	۱/۰۰۱a	۳۹/۵۷a
ارقام کلزا								
RGS003	۶/۷۷۴a	۰/۸۳۵۱a	۰/۱۳۹۴ab	۱/۱۵۵a	۱۳۰/۷a	۹۱/۷۸a		
Hyola420	۴/۸۴۹bc	۰/٦۰۷۹c	۰/۱۱۸٦bc	۰/۸۷۱b	۱۰۴/۳b	۸۳/۵۰b		
Amica	۵/۵۰۹b	۰/۷۹۹٦ab	۰/۱۲۹۴bc	۱/۱۳۲a	۱۰۵/۱b	۷۹/۱۱c		
Olga	۴/۹۳۸bc	۰/٦۱۴۳c	۰/۱۱۴۱c	۰/۸۷۲b	۱۱۰/۴b	۸۲/۱۷b		
Sarigol	۴/۷۱۷c	۰/٦۷۴۱bc	۰/۱۳۳۰abc	۰/۹۰۹ab	۱۰۲/۵c	۸۱/۹۴b		
Hyola308	٦/۲۴۹a	۰/۷۸۸۸a	۰/۱۵۴۸a	۱/۱۰۷a	۱۰۹/۸b	۹۵/۵۹a		

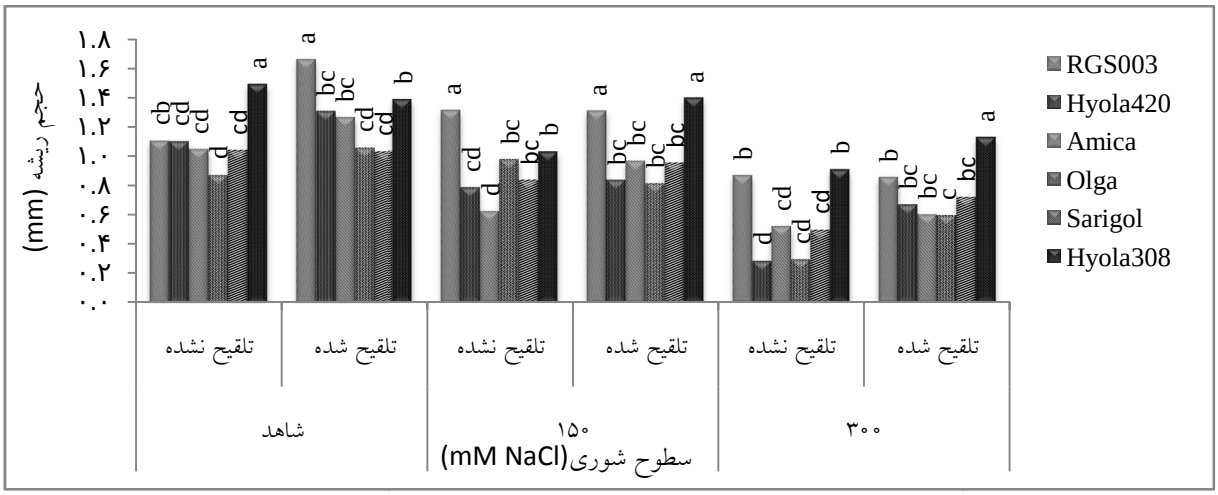
میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد (مقایسه میانگین به روش دانکن).

بیشتری برخوردار بودند. بین ارقام کلزا، بیشترین سطح برگ را رقم RGS003 و کمترین سطح برگ را رقم Sarigol داشت. عبدالقدوس (۸) گزارش کرد که شاخص سطح برگ در گیاه لوبیا با افزایش شوری (۱۲۰-۲۴۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم) کاهش معنی‌دار نشان داد؛ ولی در شوری ۶۰ میلی‌مولار، تفاوت‌ها معنی‌دار نبود. هیگبی و همکاران (۲۸) نشان دادند که شاخص سطح برگ در ارقام پنبه تحت تنش شوری اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. در بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد در گیاهان مختلف، مشاهده شد که این باکتری‌ها از طریق تولید ایندول استیک اسید موجب افزایش سطح برگ در گیاه شدند (۳۱ و ۳۸).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که طول ریشه برای سطوح مختلف شوری و باکتری (در سطح احتمال ۵٪) و نیز در بین ارقام مختلف (در سطح احتمال ۱٪) معنی‌دار می‌باشد. براساس مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، بیشترین طول ریشه مربوط به سطح بدون تنش (شاهد) و کمترین مربوط به تنش شدید می‌باشد. گیاهان تلقیح شده با باکتری بیشترین طول ریشه را داشتند. در بین ارقام مختلف کلزا، ارقام Hyola308 و RGS003 بیشترین و رقم Amica کمترین طول ریشه را به خود اختصاص دادند. خصوصیات ریشه از مهم‌ترین شاخص‌ها برای سنجش اثر تنش شوری است. زیرا ریشه‌ها در تماس مستقیم با خاک بوده و آب را از خاک به شاخساره منتقل می‌کنند (۲۹). شوری زیاد ممکن است از رشد و طویل شدن ریشه‌ها به علت کاهش جذب آب توسط گیاه جلوگیری کند (۴۰). کاپولنیک و همکاران (۳۰) طی پژوهشی روی تغییرات مورفولوژی ریشه گندم بر اثر تلقیح با باکتری‌های PGPR نشان دادند که این باکتری‌ها ضمن افزایش سطح ریشه، طول ریشه گیاهچه را نیز افزایش می‌دهند. هان و لی (۲۷) طی تحقیقی، گزارش کردند که



شکل۱. میانگین حجم ریشه ارقام کلزا در سطوح مختلف تنش شوری و تلقیح با باکتری *P. fluorescens* FY32 (مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد).



شکل۲. میانگین ارتفاع بوته ارقام کلزا در سطوح مختلف تنش شوری و تلقیح با باکتری *P. fluorescens* FY32 (مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد).

گیاه سویا به واسطه تلقیح با باکتری‌های محرک رشد، توانایی تولید ریشه‌های طویل‌تر و گسترده‌تر را تحت تنش شوری دارد.

اثر متقابل تنش شوری، باکتری و رقم برای صفت حجم ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۱) نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار حجم ریشه شد. همچنین، تلقیح باکتری با گیاهچه‌ها اثر مثبتی در کاهش اثر تنش شوری و افزایش حجم ریشه داشت. بیشترین حجم ریشه مربوط به رقم RGS003 در حالت تلقیح با باکتری در سطح بدون تنش (شاهد) و رقم Hyola308 در وضعیت تلقیح شده با باکتری در تنش شدید بود. عسکری‌پور و رفیعی (۱۱) در مطالعه‌ای که روی ژنوتیپ‌های مختلف ماش انجام دادند گزارش کردند که اثر تنش شوری بر حجم ریشه معنی‌دار بود و گیاهان با حجم بیشتر ریشه دسترسی بیشتری به آب داشته و این موجب افزایش دوام گیاه در شرایط شوری می‌شود. برخی از این PGPR ها با تولید ترکیبات هورمونی مانند اکسین، باعث افزایش رشد طولی و حجم ریشه می‌شوند (۲۳).

تجزیه داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل سطوح مختلف تنش شوری، باکتری و رقم قرار داشته است. بر اساس مقایسه میانگین تیمارها (شکل ۲)، شوری

جدول۳. میانگین صفات فیزیولوژی کلزا تلقیح شده با باکتری *P. fluorescens* FY32 تحت تنش شوری

سطوح تنش میلی‌مولار(NaCl)	سطوح باکتری	پرولین برگ (µmol/g)	پرولین ریشه (µmol/g)	سدیم ریشه (mg/g)	پتاسیم ریشه (mg/g)	نسبت سدیم / پتاسیم
۰	عدم تلقیح	۲/۳۰۹c	۴/۶۸۹c	۴/۴۳۶e	۳۹/۱۹b	۰/۱۱۴e
	تلقیح شده	۶/۲۳۲c	۱۳/۰۸c	۳/۲۷۴e	۴۳/۵۶a	۰/۰۷۶e
۱۵۰	عدم تلقیح	۱۴/۹۱c	۱۹/۹۴c	۲۲/۰۹c	۲۲/۸۰c	۱/۳۸۹c
	تلقیح شده	۳۹/۸۲ab	۵۴/۵۲b	۱۷/۷۲d	۲۳/۲۵c	۱/۰۶۷d
۳۰۰	عدم تلقیح	۳۷/۲۲b	۵۵/۱۱b	۳۹/۸۱a	۱۵/۵۸e	۳/۴۳۶a
	تلقیح شده	۵۰/۱۱a	۱۰۶/۷۱a	۳۲/۷۷b	۱۷/۱۶d	۲/۶۶۹b

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد (مقایسه میانگین به روش دانکن).

باعث کاهش ارتفاع بوته‌ها شد. گیاهان تلقیح شده با باکتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده از ارتفاع بیشتری در سطوح مختلف تنش برخوردار بودند. بیشترین ارتفاع بوته در حالت تلقیح با باکتری و در سطح شاهد، متعلق به رقم Hyola308 بود. در حالت تلقیح با باکتری تحت سطوح مختلف تنش شوری، بیشترین ارتفاع بوته به ارقام RGS003 و Hyola308 اختصاص یافت. گاما و همکاران (۲۱) ارتفاع بوته را از صفات و معیارهای رایج برای تعیین میزان تحمل شوری و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد گیاه معرفی کردند. شوری، رشد گیاهان را بسیار کند کرده و بنابراین گیاه پاکوتاه نگه داشته می‌شود (۱۴). چارتزولاکیس و همکاران (۱۶) گزارش کردند که تنش شوری باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد که در نهایت باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش سطح هورمون گیاهی اتیلن می‌شود که طی مراحلی منجر به تغییرات رشد و نمو گیاهان و افزایش ارتفاع گیاهان تلقیح شده می‌شود (۲۵). نتایج تحقیق بیاری و همکاران (۱۵) نشان داد که تلقیح گیاه ذرت با باکتری‌های PGPR باعث افزایش ارتفاع در سطوح مختلف تنش می‌شود.

بر اساس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها برای صفات مورد مطالعه در ارقام کلزای تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری *P. flourescens* FY32 تحت تنش شوری (شاهد، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، دو رقم Hyola308 و Sarigol به ترتیب به عنوان ارقام متحمل و حساس نسبی از بین شش رقم کلزا انتخاب و اندازه‌گیری میزان پرولین و نیز غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم روی این دو رقم انجام گرفت.

در رابطه با غلظت پرولین (در برگ و ریشه)، اثر متقابل تنش شوری با باکتری معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۳) نشان داد که غلظت پرولین در گیاهان تلقیح شده با باکتری اختلاف معنی‌داری با گیاهان تلقیح نشده در سطوح مختلف تنش شوری داشت. بیشترین میزان پرولین متعلق به ارقام کلزای تلقیح شده با باکتری در حالت تنش شدید (۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود.

تجمع پرولین یکی از مکانیسم‌های متابولیک می‌باشد که در پاسخ به تنش اسمزی و یا سایر تنش‌ها توسط گیاهان عالی انجام می‌گیرد (۳۲). بنده حق و همکاران (۱۲) در گزارشی نشان دادند که با افزایش شوری، پتانسیل اسمزی کاهش و تنظیم اسمزی، به ویژه از طریق تولید پرولین، افزایش می‌یابد. منصور و همکاران (۳۱) طی پژوهشی روی ارقام ذرت گزارش کردند که تجمع پرولین تحت تنش شوری در ارقام متحمل بیشتر از ارقام حساس بود. باکتری‌های محرک رشد از طریق کمک به افزایش سنتز پرولین در کاهش خسارت‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد و تنش اکسایشی در گیاهان تحت تنش شوری نقش ایفا می‌کنند (۳۷). حمدی و همکاران (۲۶) طی تحقیقی روی برنج نیز نشان داده‌اند که تجمع پرولین در گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد افزایش دارد.

جدول ۴. میانگین عناصر یونی ارقام کلزا تلقیح شده با باکتری *P. fluorescens* FY32 تحت تنش شوری

سطوح تنش میلی‌مولار(NaCl)	ارقام کلزا	سدیم ریشه (mg/g)	پتاسیم ریشه (mg/g)	نسبت سدیم/ پتاسیم
۰	Sarigol	۳/۴۴۳e	۴۰/۲۲b	۰/۵۲۹f
	Hyola308	۴/۲۶۷e	۴۲/۵۳a	۰/۳۸۷e
۱۵۰	Sarigol	۲۸/۹۴b	۱۳/۷۶e	۲/۷۹۵c
	Hyola308	۱۰/۸۷d	۳۲/۲۸c	۲/۱۶۳d
۳۰۰	Sarigol	۵۲/۲۸a	۱۰/۰۷f	۴/۳۵۴a
	Hyola308	۲۰/۳۰c	۲۲/۶۷d	۳/۰۸۹b

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد (مقایسه میانگین به روش دانکن).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، شوری، باکتری و اثر متقابل تنش شوری و باکتری برای یون‌های سدیم و پتاسیم و نسبت سدیم و پتاسیم ریشه کلزا معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، سدیم ریشه با افزایش شوری در همه تیمارها افزایش یافته است، ولی این افزایش هم در سطح تنش متوسط (۱۵۰ میلی‌مولار) و هم در سطح تنش شدید (۳۰۰ میلی‌مولار) در گیاهان تلقیح شده کاهش معنی‌داری را نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشت، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تلقیح باکتری در کاهش اثر منفی تنش شوری می‌باشد. اثر متقابل شوری و دو رقم کلزا نیز برای این یون معنی‌دار بود (جدول ۱). رقم Sarigol هم در سطح تنش متوسط و هم در سطح تنش شدید دارای بیشترین میزان جذب سدیم بود (جدول ۴).

محتوای پتاسیم در سطوح مختلف شوری دارای یک روند کاهشی بود. این کاهش، در ریشه گیاهچه‌های تلقیح شده با باکتری در حالت تنش شدید به طور معنی‌داری کمتر از گیاهچه‌های شاهد بود (جدول ۳). در همه سطوح شوری (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، بجز در سطح شاهد، رقم Hyola308 دارای بیشترین غلظت پتاسیم ریشه بود، که نشان‌دهنده مقاومت بیشتر این رقم نسبت به رقم Sarigol در سطوح مختلف شوری می‌باشد (جدول ۴).

کاهش میزان ورود یون‌های سمی (سدیم و کلراید) به جریان تعرق از طریق سلول‌های ریشه یکی از راه‌کارهای حفظ رشد و عملکرد گیاهان تحت تنش شوری می‌باشد (۱۹). تحقیق روی گیاه کلزا نشان داد که تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار میزان سدیم و کلراید گیاه کلزا شد (۵). در آزمایشی، تلقیح گیاه سویا با یکی از گونه‌های باکتری PGPR باعث کاهش میزان جذب یون‌های سدیم و کلراید در شرایط تنش شوری شد (۲۷). افزایش شوری موجب کاهش غلظت پتاسیم در گیاه کلزا می‌شود (۲). در ارقام جو متحمل به شوری، مقادیر کمتری از سدیم نسبت به ارقام حساس در بافت‌ها نگه داشته می‌شود (۳۶). در آزمایشی روی گیاه برنج، نشان داده شد که با افزایش شوری، میزان پتاسیم کاهش یافت؛ درصورتی‌که با کاربرد باکتری، میزان این یون در برنج افزایش معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد داشت (۴).

نتیجه‌گیری

با توجه به این که در مورد صفات مورد مطالعه در گیاهچه‌های تلقیح شده با باکتری، هم در شاهد (بدون تنش) و هم در سطوح تنش متوسط و شدید، برتری مشاهده شد، می‌توان استفاده از باکتری‌های محرک رشد (مانند *سودوموناس*‌ها) را جهت تحمل بیشتر گیاه کلزا و در نتیجه افزایش عملکرد پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

این طرح با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و

فناوران کشور (شماره طرح: ۸۶۱۲۱۱۰۶) و دانشگاه تبریز انجام گرفته است.

منابع مورد استفاده

۱. ارزانش، م. ح.، ن. بن یعقیل، ه. قربانلی و م. شهبازی. ۱۳۹۱. تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پارامترهای رشدی و غلظت عناصر کم‌مصرف در دو رقم کلزا تحت تنش شوری. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ۲(۲): ۱۵۳-۱۶۳.

۲. حسینی، ی.، م. همایی، ن. کریمیان و س. سعادت. ۱۳۸۷. اثرات فسفر و شوری بر رشد، غلظت عناصر غذایی و کارایی مصرف آب در کلزا (*Brassica napus* L.). مجله پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی ۸(۴): ۱-۱۸.

۳. حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ۲۲۳ صفحه.

۴. رجبی اگره، س.، م. ر. رمضان‌پور، م. محمودی و آ. مهدی‌پور. ۱۳۸۹. بررسی کارایی باکتری *Pseudomonas Sp.* بر میزان جذب عناصر غذایی تحت شرایط آبیاری با آب شور در برنج. مجموعه مقالات پنجمین همایش ایده‌های نو در کشاورزی.

۵. سلیمانی، م. ر.، م. کافی، م. ضیائی و ج. شباهنگ. ۱۳۸۷. تأثیر تنش خشکی و شوری بر علوفه دو گونه *Kochia scoparia* L. آب و خاک ۲۲: ۱۴۸-۱۵۶.

۶. عبدلی، پ.، ع. ا. سیادت.، ق. فتحی و ع. فرشادفر. ۱۳۸۳. اثر تاریخ کاشت بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه و روغن ارقام کلزا در کرمانشاه. مجله علمی کشاورزی ۲۷(۱): ۱۰۵- ۱۱۷.

۷. عزیزی، م. و ا. سلطانی. ۱۳۸۳. کلزا: فیزیولوژی، زراعت، به‌نژادی، تکنولوژی زیستی. ترجمه، چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

8. Abdul Qados, A.M.S. 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant (*Vicia faba* L.). J. Agric. Sci. 10: 7-15.
9. Asghar, H.N, Z.A. Zahir, M. Arshad and A. Khaliq. 2002. Relationship between *in vitro* production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. Biol. Fertil. Soil 35: 231-237.
10. Ashraf, M., N. Nazir and T. Mc Neilly. 2001. Comparative salt tolerances of amphidiploid and diploid Brassica species. J. Plant Sci. 160: 683-689.
11. Assgharipoor, M.R. and M. Rafiei. 2010. Effect of salinity stress on different morphological characteristics of root and root: shoot ratio on mung bean genotypes. *In:* Assgharipoor, M.R. (Ed.), Crop Sciences Congress, Shahid Beheshti University, Tehran, 218 p.
12. Bandehagh, A., M. Toorchi, A. Mohammadi, N. Chaparzadeh, G.H. Hosseini- Salekdeh and H. Kazemnia. 2008. Growth and osmotic adjustment of canola genotypes in response to salinity. J. Food Agric. Environ. 6: 201-208.
13. Bates, L.S., R.P. Waldran and I.D. Tear. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. J. Plant Biol. 39: 205-208.
14. Bernstein, L. 1975. Effect of salinity and sodicity on plant growth. J. Rev. Phytopathol. 13: 295-312.
15. Biari, A., A. Gholami and H.A. Rahmani. 2008. Growth promoting and enhanced nutrient uptake of maize (*Oriza mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. J. Biol. Sci. 8: 1015-1020.
16. Chartzoulakis, K., D. Gerasopoulos, C. Olympios and H. Passam. 1995. Salinity effects on fruit of cucumber and egg-plant. Acta Hort. 379: 187-192.
17. Chen, Y., R. Mei, S. Lu, L. Liu and L.W. Kloepper. 1994. The use of a yield increasing bacteria as PGPR in Chinese agriculture. PP. 164-184. *In:* Gupta U.K. and R. Uthede (Eds.), Management of Soil Born Diseases, Publishing House, New Delhi.
18. Cheng, Z., E. Park and B.R. Glick. 2007. 1-Aminocyclopropane-1- carboxylate deaminase from Pseudomonas putida UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. J. Microbiol. 53: 912-918.
19. Chinnusamy, V., A. Jagendorf and J.K. Zhu. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Sci. 45: 437-448.
20. Farajzadeh, D., N. Aliasgharzad, N. Sokhandan and B. Yakhchali. 2010. Cloning and characterization of a plasmid encoded ACC- deaminase from an indigenous (*Pseudomonas sp*. FY32). J. Curr Microbiol. 61: 37-43.
21. Gama, P.B., K. Inanaga and R. Nakazawa. 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. Afr. J. Biotechnol. 6: 79-88.

22. Garcia-Sanchez, F. and J.P. Syvertsen. 2006. Salinity tolerance of Cleopatra mandarin and Carrizo citrange rootstock seedling is affected by CO_2 enrichment during growth. J. Agric Sci. 131: 24-31.
23. German, M.A., S. Burdman and Y. Okon. 2000. Effects of *Azospirillum brasilense* on root morphology of common bean under different water regimes. Plant Physiol. 32: 259-264.
24. Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol. 41: 109-117.
25. Glick, B.R. 2005. Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase. J. Microbiol. 251: 1-7.
26. Hamdi, M.A., M.A.K. Shaddad and M.M. Doaa. 2004. Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of *Azospirillum brasilense* inoculation on *maize* cultivars grown under salt stress conditions. Plant Physiol. 44: 165-174.
27. Han, H.S. and K.D. Lee. 2005. Physiological responses of soybean- inoculation of Bradyrhizobium japonicum with PGPR in saline soil conditions. J. Agric. Biol. Sci. 1: 216-221.
28. Higbie, S.M., F. Wang, J.M. Stewart, T.M. Sterling, W.C. Lindemann, E. Hughs and J. Zhang. 2010. Physiological response to salt (NaCl) stress in selected cultivated tetraploid cottons. J. Agric. Sci. 10: 1155-1167.
29. Jamil, M. and E.S. Rha. 2004. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). Plant Res. 7: 226-232.
30. Kapulnik, Y., Y. Okon and Y. Henis. 2007. Changes in root morphology of wheat caused by Azospirillum inoculation. J. Microbiol. 31: 881-887.
31. Mansour, M.M.F., K.H.A. Salama, F.Z.M. Ali and A.F. Abou Hadid. 2005. Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. General Appl. Plant Physiol. 31: 29-41.
32. Mingeau, M. 1974. Performance of spring rapeseed during drought. J. Agric. Plant Sci. 36: 1-11.
33. Munns, R, R.A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Exp. Bot. 57: 1025-1043.
34. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 22: 239-250.
35. Nagashiro, C. and W.F. Shibata. 1995. Influence of salinity stress conditions on herbage yield and quality of phases bean (*Macroptilium lathyroides*). J. Agric. Sci. 41: 218-225.
36. Rivelli, A.R., R.A. James, R. Munns and A.G. Condon. 2002. Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake J. Plant Biol. 29: 1065-1074.
37. Saravanakumar, D., M. Kavin, T. Raguchander, P. Subbian and R. Samiyappan. 2010. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiol. Plant. 33: 203-209.
38. Spaepen, S., J. Vanderleyden and Y. Okon. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria: Review article. J. Adv. Bot. Res. 51: 283-320.
39. Valverde A., A. Burgos, T. Fiscella, R. Rivas, E. Velazquez, C. Rodrguez-Barrueco, E. Cervantes, M. Chambe and J.M. Igual. 2006. Differential effects of coinoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 and *Mesorhizobium ciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions. J. Plant Soil 287: 43-50.
40. Werner, J.E. and R.R. Finkelstein, R.R. 1995. Arabidopsis mutants with reduced response to NaCl and osmotic stress. Plant Physiol. 93: 659-666.