



اثر سودوموناس فلورسنت دارای فعالیت ACC دامیناز بر غلظت عناصر غذایی کم‌نیاز، وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری

*ساره رجبی اکره^۱، کاظم خاوازی^۲، محمودرضا رمضانپور^۳ و مهران افضلی^۴

^۱دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آستادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران،

^۲مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: شوری خاک و آب آبیاری از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان و تولید محصول در کشاورزی محسوب می‌شود. شوری غالباً از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک، سمیت ویژه یون‌هایی چون سدیم و کلر و هم‌چنین عدم توازن تغذیه‌ای، رشد گیاهان را محدود می‌کند. علاوه بر این، تنش شوری از طریق افزایش سطح هورمون اتیلن گیاه موجب کاهش رشد ریشه و رشد عمومی گیاه می‌شود. یکی از سازوکارهای مقابله با شوری، تلقیح بذر و یا ریشه گیاهان زراعی با باکتری‌ها محرک رشد گیاه می‌باشد. تعدادی از باکتری‌های محرک رشد، با کاهش سطح اتیلن گیاه به‌وسیله دامینه شدن ACC (پیش‌ماده سنتز اتیلن در گیاه) باعث افزایش رشد گیاه در شرایط شور می‌شوند.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر چهار سویه از باکتری‌های سودوموناس فلورسنت بر غلظت عناصر غذایی کم‌نیاز، عملکرد بیولوژیک و وزن ریشه برنج تحت شرایط آبیاری با آب‌شور آزمایش‌گلدانی به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل پنج سطح شوری آب آبیاری (۰/۷، ۱/۴، ۲/۸، ۴/۲، ۵/۶ دسی‌زیمنس بر متر از منبع آب دریا) و فاکتور دوم شامل چهار زاد مایه (سودوموناس پوتیدا ۴، سودوموناس پوتیدا ۱۱، سودوموناس پوتیدا ۱۰۸، سودوموناس فلورسنس ۱۶۹) و یک تیمار بدون تلقیح بود. ریشه نشاء برنج رقم طارم پس از تلقیح با سویه‌های موردنظر در گلدان‌ها کاشته شدند. آبیاری با تیمارهای مختلف آب‌شور در طول دوره رشد گیاه در حد اشباع انجام گردید. جهت تعیین غلظت عناصر غذایی نمونه برگ و دانه تهیه شد.

یافته‌ها: با بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد فلورسنت با توانایی تولید آنزیم ACC دامیناز بر وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک برنج مشاهده شد که با افزایش شوری آب آبیاری وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک برنج کاهش معنی‌داری داشت. در تمامی سطوح شوری تلقیح ریشه برنج با باکتری محرک رشد باعث افزایش وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک برنج شد. در بین تیمارهای اعمال شده در این پژوهش، تیمارهای تلقیح شده با باکتری T4

* مسئول مکاتبه: s.rajabi@gmail.com

بیشترین وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک را دارا بودند. هم‌چنین با افزایش شوری آب آبیاری غلظت همه عناصر غذایی کم‌نیاز در برگ و دانه برنج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تلقیح برنج با سویه‌های مختلف باکتری‌های سودوموناس فلورسنس و باکتری‌های سودوموناس پوتیدا در شرایط آبیاری با آب شور بر جذب عناصر غذایی کم‌نیاز در برنج مؤثر بود و باعث افزایش معنی‌دار غلظت این عناصر نسبت به تیمارهای تلقیح نشده گردید. در تمامی سطوح شوری، تیمارهای تلقیح شده با سویه سودوموناس فلورسنس ۱۶۹ بیشترین غلظت آهن و منگنز برگ را دارا بود.

نتیجه‌گیری: تلقیح برنج با سویه‌های مختلف باکتری‌های سودوموناس فلورسنس و سودوموناس پوتیدا در شرایط آبیاری با آب شور در تخفیف اثرات شوری در شرایط گلدانی مؤثر بود. در شرایط آبیاری با آب شور از سویه‌های سودوموناس پوتیدا ۱۱، سودوموناس پوتیدا ۱۰۸، سودوموناس فلورسنس ۱۶۹ تا بالاترین سطح شوری می‌توان به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه در کاهش اثرات شوری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد گیاه، برنج، شوری آب آبیاری، عناصر غذایی

مقدمه

غذایی می‌شود (۴۰). علاوه بر این، تنش شوری از طریق افزایش سطح هورمون اتیلن گیاه موجب کاهش رشد ریشه و رشد عمومی گیاه می‌گردد (۱۶ و ۲۲). یکی از راهکارهای مقابله با شوری، تلقیح بذر و یا ریشه گیاهان زراعی با انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاکزی می‌باشد (۳۸). باکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ (PGPR) با به‌کارگیری برخی سازوکارها (مانند تولید فیتوهورمون‌ها، سیدروفور، انحلال فسفات‌های نامحلول، تولید آنزیم ACC-دآمیناز^۲ و...) و تسهیل جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه باعث افزایش رشد گیاه و تولید محصول در واحد سطح می‌شوند (۱۰، ۱۷ و ۴۱).

یکی از سازوکارهای مهم که به‌وسیله تعدادی از باکتری‌های محرک رشد برای تسهیل و افزایش رشد گیاه در شرایط شور استفاده می‌گردد، کاهش سطح اتیلن گیاه به‌وسیله دآمیناز شدن ACC (پیش‌ماده سنتز اتیلن در گیاه) می‌باشد (۲۵). تعداد زیادی از باکتری‌های PGPR با تولید آنزیم ACC دآمیناز، پیش‌ماده تولید اتیلن در گیاه را به آمونیوم و

یکی از نارسایی‌های عمده در توسعه کشاورزی، محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب است. با حادث شدن مشکل کمبود آب، استفاده از آب‌های باکیفیت نامطلوب از اهمیت زیادی برخوردار شده است. به همین دلیل، آب‌های شور و لب‌شور در زمره منابع آب‌های غیرمعارف در کشاورزی موردتوجه بسیاری قرار گرفته است (۳۲). به‌طوری‌که در برخی مناطق به دلیل کمبود منابع آب شیرین، آب‌های شور به‌عنوان تنها منبع آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ایران، شوری خاک و آب آبیاری از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان و تولید محصول محسوب می‌شود (۲۴). با وقوع کم‌آبی نه‌تنها حجم آب کم می‌شود بلکه کیفیت آن نیز تغییر یافته و شورتر می‌شود (۶). شوری آب و خاک غالباً از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک، سمیت ویژه یون‌هایی چون سدیم و کلر و هم‌چنین عدم توازن تغذیه‌ای، رشد گیاهان را محدود می‌کند (۲۳). شوری، تعادل تغذیه‌ای گیاه را از طریق مختل کردن فرایندهای فتوسنتز، تنفس و سنتز پروتئین برهم می‌زند که در نهایت منجر به کاهش جذب عناصر

1- PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria
2- Amino Cyclopropane-1-Carboxylate deaminase

سودوموناس فلورسنس ۱۹۶ طول اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۱۴). هم‌چنین باکتری محرک رشد سودوموناس پوتیدا/ سویه RS- ۱۹۸ در گیاه پنبه در مرحله جوانه‌زنی تحت تنش شوری آب آبیاری، باعث افزایش میزان پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن در برگ و ریشه شد (۱۹). نتایج پژوهش مایاک و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان داد که تلقیح گیاه گوجه‌فرنگی با باکتری محرک رشد، تحت شرایط شوری، باعث افزایش میزان عناصر غذایی اندام هوایی گردید (۲۲).

از آنجایی‌که برنج دومین غله مهم جهان است و غذای اصلی بیش از نیمی از مردم دنیا را تشکیل می‌دهد از جایگاه ویژه‌ای در ایران برخوردار است. استان مازندران با سطح زیر کشت حدود ۲۱۱۰۰۰ هکتار از اراضی شالیزاری از استان‌های مهم تولید برنج در ایران می‌باشد (۲). در سال‌های اخیر با پیشروی آب دریای خزر، زمین‌های نوار ساحلی در برابر شوری قرار گرفته که پتانسیل خسارت به شالیزارهای واقع در این مناطق را افزایش داده است (۳). هم‌چنین اقدامات دیگر از جمله ساخت سدهای متعدد در بالادست و کاهش آب ورودی به سد و تحویل پساب به‌جای آب شیرین، شوری شالیزارها را در پی داشته است (۱۳). با تغییرات اقلیمی چند سال اخیر و وقوع کم‌آبی و خشک‌سالی‌های ناشی از آن و پیش‌بینی افزایش شدت این تغییرات در آینده (۱۱)، نگرانی‌های زیادی را در مورد تشدید مشکل شوری به‌وجود آورده است. بنابراین پژوهش حاضر به‌دلیل اهمیت تولید محصول در شرایط شور و بررسی نقش سویه‌های سودوموناس فلورسنس و سودوموناس پوتیدا در افزایش رشد ریشه و غلظت عناصر غذایی کم‌نیاز در شرایط آبیاری با آب شور در برنج صورت پذیرفت.

آلفاکتوتیرات^۱ هیدرولیز کرده و مانع تولید بیش‌ازحد اتیلن تنشی در گیاه و کاهش رشد ریشه می‌شوند (۷،۲۷). هم‌چنین این باکتری‌ها با ترشح هورمون‌هایی از جمله جیبرلین و ایندول استیک اسید باعث افزایش طول و سطح ریشه شده که نتیجه آن افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش شوری را در پی دارد (۳۴ و ۳۵).

در میان باکتری‌های محرک رشد گیاه باکتری‌های جنس سودوموناس به‌دلیل توزیع گسترده در خاک، توانایی کلونیزاسیون فراریشه^۲ بسیاری از گیاهان و تولید طیف متنوعی از متابولیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (۱).

مطالعات متعدد بیانگر بهبود رشد گیاهان از جمله کلزا، کاهو، فلفل، گوجه‌فرنگی (۲۸) و جو (۱۲) در حضور باکتری‌های محرک رشد تحت استرس شوری گزارش شده است (۲۸). سادات و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تنش شوری از طریق تولید اتیلن تنشی در گیاه میزان رشد ریشه را در گندم کاهش می‌دهد. این باکتری‌ها با تولید آنزیم ACC - د آمیناز و تجزیه پیش‌نیاز تولید اتیلن، با کاهش میزان هورمون اتیلن، باعث افزایش رشد گیاه شده و با تولید سیدروفورها و مواد کلات‌کننده میزان فراهمی عناصر کم‌مصرف در شرایط شور را افزایش دادند (۲۹). جلیلی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت دارای فعالیت آنزیم ACC - د آمیناز در تعدیل اثرات مضر شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد کلزا گزارش نمودند که در شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر، تلقیح رقم Hayola 308 با سویه‌های سودوموناس پوتیدا/ ۱۰۸، سودوموناس پوتیدا/ ۱۱ و سودوموناس فلورسنس ۱۹۶ و تلقیح رقم RGS 003 با باکتری‌های سودوموناس پوتیدا/ ۱۱ و

1- α - ketobutyrate

2- Rhizosphere

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی نقش سودوموناس‌های فلورسنت در افزایش جذب عناصر غذایی در برگ و دانه برنج در شرایط آبیاری با آب‌شور، آزمایشی یک‌ساله در شرایط گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران (ایستگاه تحقیقات کشاورزی پهناب جویبار با عرض شمالی $36^{\circ} 39/2'$ و طول شرقی $58' 52^{\circ}$) در چهار تکرار بر روی برنج رقم طارم دیلمانی اجرا شد.

فاکتور اول شامل پنج سطح شوری آب آبیاری ($0/7, 1/4, 2/8, 4/2, 5/6$ دسی‌زیمنس بر متر از منبع آب دریا) و فاکتور دوم شامل چهار زاد مایه باکتری (سودوموناس پوتیدا ۴، سودوموناس پوتیدا ۱۱، سودوموناس پوتیدا ۱۰۸ و سودوموناس فلورسنس ۱۶۹) و یک تیمار بدون تلقیح بود. برای تهیه بستر کشت از خاک سطحی مزرعه شالیزاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران (ایستگاه تحقیقات باغ‌کلا نکا با عرض شمالی $36^{\circ} 41/2'$ و طول شرقی $44' 53^{\circ}$) استفاده شد. هم‌چنین باکتری‌های مورد استفاده در این پژوهش از بانک میکروبی بخش تحقیقات بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور و آب مورد استفاده از منبع آب دریای مازندران تأمین شد. شوری آب دریا $17/32$ دسی‌زیمنس بر متر بود که با استفاده از آب مقطر رقیق شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱، مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب در جدول ۲ و برخی از خصوصیات زاد مایه استفاده شده در این پژوهش در جدول ۳ آورده شده است.

به منظور کنترل بهتر و جلوگیری از تأثیر عوامل ناخواسته این آزمایش در شرایط کاملاً کنترل شده گلخانه انجام شد. گلخانه مذکور با استفاده از

پلاستیک در محوطه مزرعه تحقیقاتی پهناب ایجاد شد. خاک بستر آزمایش با الک ۴ میلی‌متری غربال و به گلدان‌های ۱۲ کیلوگرمی به قطر ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر منتقل و حالت غرقابی ایجاد گردید. کود پایه نیتروژن و پتاسیم از منبع سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک قبل از کاشت استفاده شد. بذور برنج در اردیبهشت‌ماه در خزانه کشت و در خردادماه نشاءها از خزانه جدا و ریشه آن‌ها با سویه‌های باکتری‌های موردنظر با تراکم جمعیت 1×10^8 در هر میلی‌لیتر سوسپانسیون، به مدت ۲۴ ساعت تلقیح شد. سپس در هر گلدان به تعداد پنج بوته نشاء و قبل از پنجه‌زنی تنک شده و به تعداد سه بوته در هر گلدان نگهداری شد.

طی مدت ۱۰ روز پس از نشاکاری آبیاری با آب معمولی انجام گرفت؛ سپس اعمال تیمارهای آزمایش به صورت غرقاب دائم با ارتفاع ۵ سانتی‌متر از سطح خاک شروع شد. برای جلوگیری از تجمع نمک‌ها در طی فصل رشد چند بار مبادرت به آبیاری گلدان‌ها شد. تمام مراحل زراعی به صورت معمول و کاملاً یکسان و طبق عرف منطقه انجام پذیرفت. به منظور جلوگیری از اثرات سو افزایش دمای داخل گلخانه چند سوراخ در بدنه گلخانه تعبیه و با بالا زدن پلاستیک در مواقع آفتابی دمای داخل آن کنترل شد. جهت تعیین غلظت عناصر غذایی در گیاه، در مرحله گلدهی از برگ پرچم نمونه برگ و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی نمونه بذر تهیه شد.

عناصر منگنز، آهن، روی و مس در برگ و بذر برنج در عصاره حاصل از هضم به طریق سوزاندن خشک و عصاره‌گیری با اسیدکلریدریک دو نرمال با دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer 400) اندازه‌گیری شد (۵). در پایان آزمایش بوته‌ها به‌طور کامل از گلدان خارج، اندام هوایی و ریشه از هم جدا شد. ریشه بوته‌ها پس از شستشو در دمای 70° درجه

آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. سانی‌گراد خشک و توزین شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. گروه‌بندی میانگین‌ها به روش

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (قبل از کشت).

Table 1. Physico-chemical properties of the soil.

عمق Depth	pH	قابلیت	کربنات	ماده آلی	نیترژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	بافت Soil Texture
		هدایت الکتریکی EC (dSm ⁻¹)	کلسیم Calcium carbonate	Organic matter	Nitrogen	قابل استفاده گیاه Phosphorus	قابل استفاده گیاه Potassium	قابل استفاده گیاه Iron	قابل استفاده گیاه Manganese	قابل استفاده گیاه Zinc	قابل استفاده گیاه Copper	
(Cm)		(%)				(mg kg ⁻¹)						
0-30	7.61	0.780	28.0	2.68	0.130	12.6	337	2.79	3.99	1.32	1.89	سیلت لوم Silt loam

جدول ۲- مقادیر برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب آبیاری استفاده شده در آزمایش.

Table 2. Amount of cations and anions in the irrigation water.

سولفات Sulfate	بیکربنات Bicarbonate	سدیم Sodium	کلر Chlorine	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	pH	هدایت الکتریکی EC	شوری Salinity
meq/l						dS m ⁻¹		
0.300	3.80	3.10	3.40	2.80	1.60	7.21	0.7	S ₀
0.300	5.60	6.80	7.20	4.50	1.80	7.42	1.4	S ₁
0.36	10.1	18.8	16.9	6.80	2.20	7.60	2.8	S ₂
0.8	14.0	28.5	27.1	9.00	4.00	7.59	4.2	S ₃
3.00	20.1	39.0	38.7	16.4	6.40	7.63	5.6	S ₄

جدول ۳- فعالیت آنزیم ACCdeaminase، میزان تولید مواد شبه اکسین، توان انحلال منابع نامحلول فسفر و توان تولید سیدروفور سویه‌های باکتری (۱۴، ۳۲).

Table 3. Production of ACC-deaminase, IAA, Auxin like substances, phosphate solubilization and siderophore production by bacterial strains (14, 32).

Properties	<i>P. p</i> 4 (T ₁)	<i>P. p</i> 11 (T ₂)	<i>P. p</i> 108 (T ₃)	<i>P. f</i> 169 (T ₄)
ACC deaminase activity*	2.35	2.41	5.03	3.51
Auxin like substances (mg/L)	9.60	7.68	8.90	5.80
Siderophore production (halo diameter, cm)	1.90	1.60	1.70	1.80
Phosphate solubilizing activity	+	+	+	+

p.p.: *Pseudomonas putida*

p.f.: *Pseudomonas fluorescens*

*, $\mu\text{mol of } \alpha\text{-ketobutyrate h}^{-1} \text{ mg of protein}^{-1}$

نتایج و بحث

شوری و تلقیح باکتری‌های سودوموناس فلورسنت بر وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک برنج معنی‌دار بود.

با توجه به داده‌های جدول ۴، اثر شوری، اثر تلقیح باکتری‌های سودوموناس فلورسنت و اثر متقابل

جدول ۴- میانگین مربعات وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک برنج تیمار شده با سویه‌های مختلف باکتری‌های سودوموناس در سطوح مختلف شوری.

Table 4. Mean square Root weight and Biological yield of rice treated with different strains of *Pseudomonas* bacteria at different levels of salinity.

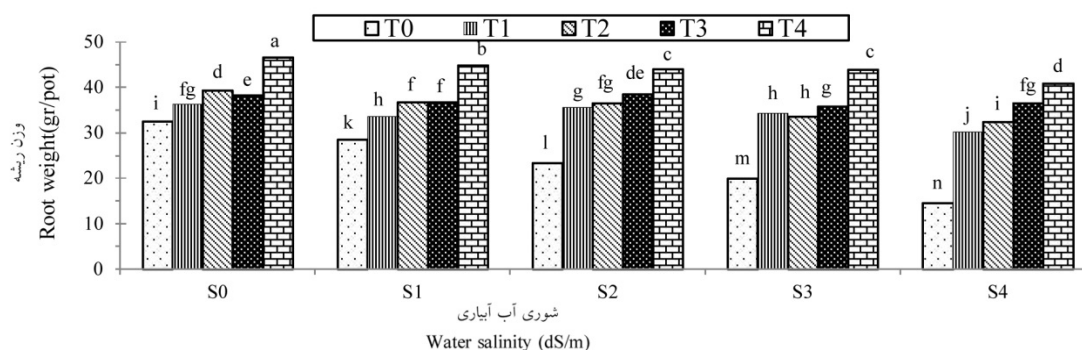
عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن ریشه Root weight	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of Variance
115.14**	4770.42**	4	شوری Salinity
1184.02**	829.54**	4	باکتری Bacteria
35.88*	145.28**	16	باکتری × شوری Bacteria × Salinity
0.502	31.02	75	خطا Error
2.02	3.85	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

**، *، ^{ns} Significant at $P \leq 0.01$, significant at $P \leq 0.05$, non significant respectively.

برنج باعث شد (شکل ۱). در سطح T_0 ، عملکرد بیولوژیک برنج در شرایط تنش شدید (S_4) ۳۳/۷۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داشت. تلقیح برنج با سویه‌های مورد بررسی در تمامی سطوح شوری باعث افزایش عملکرد بیولوژیک نسبت به سطح بدون تلقیح گردید. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در سطح پایین شوری اگرچه بین سویه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ولی تیمارهای تلقیح شده با سویه‌های T_2 و T_4 ، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک برنج را داشتند. با افزایش شوری آب آبیاری تا سطح S_3 ، باکتری T_4 از کارایی بیش‌تری برخوردار بوده و تیمارهای تلقیح شده با این باکتری، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را تولید کردند (شکل ۲).

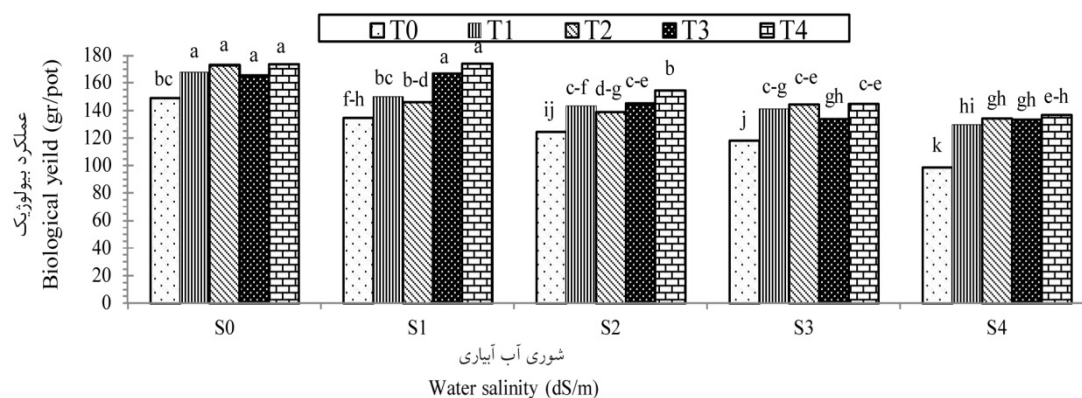
با بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد با توانایی تولید آنزیم ACC دامیناز بر وزن ریشه برنج مشاهده شد که با افزایش شوری آب آبیاری وزن ریشه برنج کاهش معنی‌داری داشت. بیش‌ترین وزن ریشه در تیمار S_0 و کم‌ترین وزن ریشه در تیمار S_4 بود که کاهش ۵۵/۵ درصدی در وزن ریشه مشاهده شد. نتایج نشان داد در تمامی سطوح شوری بین تیمارهای باکتریایی و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تلقیح ریشه برنج با باکتری محرک رشد باعث افزایش وزن ریشه برنج شد. در بین تیمارهای اعمال شده در این پژوهش، تیمارهای تلقیح شده با باکتری T_4 بیش‌ترین وزن ریشه را دارا بودند (شکل ۱). در تمام سطوح باکتری‌های مورد بررسی، افزایش شوری، کاهش قابل ملاحظه‌ای را در عملکرد بیولوژیک



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر سویه‌های باکتری سودوموناس فلورسنت بر وزن ریشه برنج (گرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری آب آبیاری.

Figure 1. Mean comparison of the effect of bacterial strains on root weight at different salinity levels of irrigation water.

S₀: 0.7 dS/m, S₁: 1.4 dS/m, S₂: 2.8 dS/m, S₃: 4.2 dS/m, S₄: 5.6 dS/m, T₀: Non-inoculated, T₁: *P. putida* 4, T₂: *P. putida* 11, T₃: *P. putida* 108, T₄: *P. fluorescens* 169.



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثر سویه‌های باکتری بر عملکرد بیولوژیک برنج (گرم در گلدان) در سطوح مختلف شوری آب آبیاری.

Figure 2. Mean comparison of the effect of bacterial strains on biological yield at different salinity levels of irrigation water.

S₀: 0.7 dS/m, S₁: 1.4 dS/m, S₂: 2.8 dS/m, S₃: 4.2 dS/m, S₄: 5.6 dS/m, T₀: Non-inoculated, T₁: *P. putida* 4, T₂: *P. putida* 11, T₃: *P. putida* 108, T₄: *P. fluorescens* 169.

باکتری‌های سودوموناس فلورسنت بر غلظت عناصر غذایی منگنز، آهن، روی و مس در برگ و دانه (شلتوک) برنج معنی‌دار بود (جدول ۵).

بررسی آماری داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر شوری، اثر تلقیح باکتری‌های سودوموناس فلورسنت و اثر متقابل شوری و تلقیح

جدول ۵- میانگین مربعات غلظت منگنز، آهن، روی و مس، در برگ و دانه (شلتوک) برنج تیمار شده با سویه‌های مختلف باکتری‌های سودوموناس در سطوح مختلف شوری.

Table 5. Mean square concentrations of manganese, iron, zinc and copper in leaf and grain rice treated with different strains of *Pseudomonas* bacteria at different levels of salinity.

دانه Grain		برگ Leaf		درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of Variance		
مس Copper	روی Zinc	آهن Iron	منگنز Manganese			مس Copper	روی Zinc
11.33**	792.84**	3945.54**	148.44**	4	شوری Salinity		
60.36**	353.04**	21541.77**	493.09**	4	باکتری Bacteria		
4.86**	8.30*	307.64 ^{ns}	32.36**	16	باکتری × شوری Bacteria × Salinity		
1.87	4.34	185.96	7.41	75	خطا Error		
18.9	5.88	18.9	13.6	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		

**، *، ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

**، *، ^{ns} Significant at $P \leq 0.01$, significant at $P \leq 0.05$, non significant respectively.

شرایط عدم تلقیح (T_0)، افزایش شوری آب آبیاری از S_1 به S_4 موجب کاهش غلظت آهن برگ برنج به میزان ۴۰٪ درصد شد. در تیمارهای تلقیح شده با باکتری T_1 ، T_2 و T_3 نیز با افزایش شوری تا سطح S_4 غلظت آهن برگ کاهش یافت، ولی این کاهش با آهنگ کمتری نسبت به T_0 بود. در بین سویه‌های باکتری، در تمامی سطوح شوری، تیمارهای تلقیح شده با باکتری T_4 بیشترین میزان غلظت آهن برگ را نسبت به سطح T_0 دارا بودند (جدول ۶). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش تنش شوری از غلظت آهن دانه نیز کاسته شد و در شرایط عدم تلقیح در شوری S_4 نسبت به شوری S_0 ، ۶۵/۶ درصد کاهش مشاهده شد. با تلقیح برنج در سطوح مختلف شوری آب آبیاری، غلظت آهن در دانه برنج افزایش یافت. بیشترین غلظت آهن دانه در سطوح شوری پایین (S_1 و S_2) در تیمار تلقیح شده با سویه T_2 و در سطوح بالاتر شوری در تیمار تلقیح شده با سویه T_1 بود (جدول ۷).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین غلظت عناصر غذایی کم‌نیاز در برگ و دانه برنج در پایین‌ترین سطح شوری (S_0) مشاهده و با افزایش سطح شوری، از غلظت بیش‌تر عناصر غذایی کاسته شد. هم‌چنین با تلقیح باکتری‌های سودوموناس غلظت عناصر غذایی در برگ و دانه برنج نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت (جدول‌های ۶ و ۷). نتایج بیانگر آن است که بین سویه‌های مختلف باکتری در سطوح شوری S_0 ، S_1 و S_4 ، اختلاف معنی‌داری در افزایش غلظت منگنز برگ برنج مشاهده نشد؛ اما در سطح شوری S_2 ، باکتری T_4 با افزایش منگنز برگ از ۵۲/۲ به ۱۲۱/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم با بقیه سویه‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). در تمامی سطوح شوری به‌غیر از S_1 ، تیمارهای تلقیح شده با سویه T_2 بیشترین درصد افزایش غلظت منگنز دانه را نسبت به T_0 داشتند (جدول ۷). بررسی اثر متقابل تلقیح باکتری و سطوح شوری آب آبیاری بر میزان آهن برگ برنج نشان داد که در

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به تأثیر سویه‌های باکتری سودوموناس در سطوح مختلف شوری آب آبیاری نشان داد که در شوری S₀، سویه T₂ با ۱۹۲/۹۴ درصد افزایش در غلظت مس برگ نسبت به سطح T₀ اختلاف معنی‌داری با سایر سویه‌ها داشت. در سطوح شوری‌های بالا S₃ و S₄ بالاترین میزان غلظت مس برگ نیز در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری T₄ مشاهده شد (جدول ۶). در شوری‌های S₀، S₂، S₃ و S₄ تیمارهای تلقیح‌شده با سویه T₃ و T₂ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان افزایش در غلظت مس دانه را دارا بودند (جدول ۷).

بررسی روند تغییرات داده‌ها نشان داد که در تیمارهای تلقیح‌نشده (T₀) با افزایش شوری از غلظت روی در برگ و دانه برنج کاسته شده است (جدول‌های ۶ و ۷). در بین سویه‌های مختلف باکتری سودوموناس در سطوح شوری S₀، S₁ و S₂ تیمار تلقیح‌شده با باکتری T₁ و در شوری‌های بالاتر تیمار تلقیح‌شده با باکتری T₃ بیش‌ترین غلظت روی در برگ برنج را دارا بود (جدول ۶). هم‌چنین در سطوح شوری S₀ و S₄، بیش‌ترین میزان غلظت روی دانه در تیمار تلقیح‌شده با سویه T₂ به ترتیب با ۲۶/۱ درصد و ۵۱/۶ درصد افزایش نسبت به T₀ و در سطوح شوری S₁، S₂ و S₃ در تیمارهای تلقیح‌شده با سویه T₁ مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های اثر سویه‌های باکتری بر غلظت منگنز، آهن، روی و مس در برگ برنج در سطوح مختلف شوری آب آبیاری.

Table 6. Mean comparison of the effect of bacterial strains on Mn, Fe, Zn and Cu content in leaf of rice at different salinity levels of irrigation water.

مس Copper	روی Zinc	آهن Iron	منگنز manganese	سویه باکتری Bacteria strains	شوری Salinity (dS/m)
(mg/kg)					
5.00 ^{ghi}	53.2 ^{c-f}	121 ^{ijk}	107 ^{abc}	T ₀	S ₀
7.18 ^{d-g}	76.6 ^a	191 ^c	116 ^a	T ₁	
14.9 ^a	65.9 ^{ab}	160 ^{ef}	114 ^a	T ₂	
6.54 ^{e-h}	74.3 ^a	210 ^b	120 ^a	T ₃	
6.26 ^{f-h}	61.0 ^{bc}	237 ^a	117 ^a	T ₄	
4.59 ^{hi}	46.6 ^{d-g}	116 ^{jk}	76.8 ^{d-h}	T ₀	S ₁
8.06 ^{def}	54.0 ^{cd}	181 ^{cd}	96.9 ^{a-c}	T ₁	
8.73 ^{c-f}	48.2 ^{d-g}	131 ^{hi}	102 ^{a-d}	T ₂	
8.60 ^{def}	48.6 ^{d-g}	191 ^c	96.7 ^{a-c}	T ₃	
9.14 ^{cd}	49.3 ^{c-g}	216 ^b	76.3 ^{d-h}	T ₄	
3.89 ⁱ	38.3 ^{ghi}	101 ^{lm}	52.2 ^{hi}	T ₀	S ₂
8.47 ^{def}	46.6 ^{d-g}	163 ^{ef}	75.4 ^{e-h}	T ₁	
6.54 ^{e-h}	44.0 ^{d-h}	122 ^{hij}	68.9 ^{f-h}	T ₂	
8.06 ^{def}	45.7 ^{d-h}	174 ^d	71.6 ^{e-h}	T ₃	
8.57 ^{def}	39.1 ^{ghi}	190 ^c	121 ^a	T ₄	
3.54 ⁱ	33.5 ^{hi}	94 ^m	34.1 ^{ij}	T ₀	S ₃
8.83 ^{cde}	40.4 ^{e-i}	148 ^g	88.4 ^{b-f}	T ₁	
11.0 ^{bc}	39.8 ^{f-i}	120 ^{jk}	71.3 ^{e-h}	T ₂	
8.62 ^{def}	52.7 ^{cde}	161 ^{ef}	110 ^{ab}	T ₃	
9.25 ^{cd}	45.4 ^{d-h}	170 ^{de}	83.6 ^{c-g}	T ₄	
2.86 ⁱ	29.7 ⁱ	71 ⁿ	14.5 ^j	T ₀	S ₄
11.1 ^{bc}	42.9 ^{d-h}	132 ^h	77.1 ^{d-h}	T ₁	
14.9 ^a	52.4 ^{cef}	111 ^{kl}	60.5 ^{gh}	T ₂	
12.8 ^{ab}	48.6 ^{d-g}	146 ^g	63.7 ^{f-h}	T ₃	
13.6 ^a	45.5 ^{d-h}	159 ^f	85.0 ^{b-g}	T ₄	

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می‌باشند تفاوت معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن در سطح پنج درصد).

* Means followed by the same letters in each column are not significantly different (Duncan's multiple range test 5%)

S₀: 0.7 dS/m, S₁: 1.4 dS/m, S₂: 2.8 dS/m, S₃: 4.2 dS/m, S₄: 5.6 dS/m, T₀: Non-inoculated, T₁: *P. putida* 4, T₂: *P. putida* 11, T₃: *P. putida* 108, T₄: *P. fluorescens* 169.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر سویه‌های باکتری بر غلظت منگنز، آهن، روی و مس در دانه برنج در سطوح مختلف شوری آب آبیاری.

Table 7. Mean comparison of the effect of bacterial strains on Mn, Fe, Zn and Cu content in grain of rice at different salinity levels of irrigation water.

مس Copper	روی Zinc	آهن Iron	منگنز manganese	سویه باکتری Bacteria strains	شوری Salinity (dS/m)
(mg/kg)					
5.76 ^{efg}	37.8 ^{ef}	45.1 ^{i-l}	17.2 ^{f-h}	T ₀	S ₀
9.37 ^{ab}	46.3 ^{ab}	67.2 ^{d-i}	23.6 ^{ab}	T ₁	
8.83 ^{a-d}	47.6 ^a	110 ^a	24.9 ^a	T ₂	
9.80 ^a	47.2 ^a	83.1 ^{de}	19.5 ^{d-f}	T ₃	
8.72 ^{a-d}	41.6 ^{cd}	105 ^b	23.2 ^{abc}	T ₄	
5.41 ^{fg}	28.5 ^{lm}	39.9 ^{jkl}	15.2 ^{hij}	T ₀	S ₁
9.12 ^{a-c}	43.6 ^{bc}	71.2 ^{d-h}	23.5 ^{ab}	T ₁	
7.26 ^{b-f}	41.9 ^{cd}	87.1 ^{cd}	22.9 ^{abc}	T ₂	
7.79 ^{b-e}	40.1 ^{de}	81.0 ^{def}	21.1 ^{cd}	T ₃	
9.37 ^{ab}	39.6 ^{de}	83.2 ^{cd}	19.5 ^{def}	T ₄	
5.25 ^{efg}	28.9 ^{lmn}	34.6 ^{kl}	12.3 ^{kl}	T ₀	S ₂
8.75 ^{a-d}	37.6 ^{ef}	74.4 ^{d-g}	19.3 ^{def}	T ₁	
5.95 ^{efg}	37.5 ^{ef}	69.0 ^{d-h}	22.5 ^{bc}	T ₂	
9.13 ^{abc}	35.6 ^{fg}	68.0 ^{d-h}	17.2 ^{fgh}	T ₃	
7.35 ^{b-f}	34.5 ^{f-i}	66.8 ^{d-h}	15.9 ^{ghi}	T ₄	
4.70 ^g	26.3 ⁿ	25.8 ^{lm}	9.37 ^m	T ₀	S ₃
8.59 ^{a-d}	35.2 ^{f-h}	62.0 ^{e-j}	18.1 ^{efg}	T ₁	
5.55 ^{efg}	32.3 ^{h-k}	55.5 ^{g-k}	23.0 ^{abc}	T ₂	
8.85 ^{a-d}	33.2 ^{g-j}	58.9 ^{f-j}	16.0 ^{ghi}	T ₃	
7.26 ^{b-f}	31.7 ^{i-l}	57.6 ^{g-k}	13.1 ^{jkl}	T ₄	
2.90 ^h	20.5 ^o	15.5 ^m	6.06 ⁿ	T ₀	S ₄
7.32 ^{b-f}	30.8 ^{jkl}	57.7 ^{g-j}	16.4 ^{gh}	T ₁	
5.44 ^{fg}	31.0 ^{jkl}	51.3 ^{h-k}	20.1 ^{de}	T ₂	
7.40 ^{b-f}	29.9 ^{klm}	53.9 ^{g-k}	14.0 ^{ijk}	T ₃	
5.93 ^{e-g}	26.8 ^{mn}	51.8 ^{h-k}	11.3 ^{lm}	T ₄	

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می‌باشند تفاوت معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن در سطح پنج درصد).

* Means followed by the same letters in each column are not significantly different (Duncan's multiple range test 5%)

S₀: 0.7 dS/m, S₁: 1.4 dS/m, S₂: 2.8 dS/m, S₃: 4.2 dS/m, S₄: 5.6 dS/m, T₀: Non-inoculated, T₁: *P. putida* 4, T₂: *P. putida* 11, T₃: *P. putida* 108, T₄: *P. fluorescens* 169.

غذایی افزایش و در نتیجه فتوسنتز بیش‌تری انجام شده و اثرات سوء شوری تعدیل می‌گردد (۴۲). هم‌چنین باکتری‌های محرک رشد از طریق ترشح هورمون‌های محرک رشد موجب افزایش ریشه‌زایی و گسترش سیستم ریشه گیاه شده و رشد کل گیاه را از طریق تقسیم سلولی، افزایش نفوذپذیری غشاء سلول‌های گیاه و افزایش جذب مواد غذایی فراهم می‌آورند (۴). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری سیستم ریشه‌ای گیاه رشد کم‌تری نسبت به شرایط بدون شوری داشته و وزن

یک باکتری محرک رشد گیاه (PGPR) عموماً دارای مجموعه‌ای از فعالیت‌های محرک رشد گیاهی است که برآیند تعامل این صفات می‌تواند در یک یا چند مرحله خاص از رشد گیاه و بسته به شرایط محیطی حاکم بر رشد، منجر به افزایش یا کاهش صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه گردد. سودوموناس‌های فلورسنت با تولید آنزیم ACC دامیناز میزان اتیلن گیاه را کاهش داده و در نتیجه باعث افزایش رشد ریشه می‌شوند. با توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه، سطح تماس برای جذب آب و عناصر

ACC دامیناز و هورمون اکسین را دارند می‌توان افزایش وزن ریشه و عملکرد بیولوژیک را در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری را به این مکانیسم‌ها نسبت داد؛ بنابراین این مکانیسم‌ها به‌خوبی قابلیت تعدیل شرایط تنش شوری را در حضور باکتری‌های محرک رشد توجیه می‌کنند.

خشک ریشه بوته‌ها در شرایط شور ۵۵ درصد کاهش نسبت به شرایط بدون شوری نشان دادند (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که تلقیح برنج با باکتری موجب افزایش گستردگی سیستم ریشه‌ای گیاه گردیده است (شکل ۳-ب). از آنجایی که باکتری‌های استفاده شده در این پژوهش توانایی تولید آنزیم



(ب)

(الف)

شکل ۳- اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری (الف) و سویه‌های باکتری سودوموناس فلورسنت (ب) بر گستردگی سیستم ریشه‌ای در برنج.

Figure 3. The effect of different salinity levels of irrigation water (a) and Fluorescent pseudomonads strains (b) on extent of root system in rice.

آهن، می‌تواند در محلول خاک همراه با جریان توده‌ای به سطح ریشه برسد و آهن از طریق آنزیم احیاکننده آهن III موجود در غشای پلاسمایی (۲۰) و یا از طریق فرایند تبادل لیگاندی (۳۹) جذب شود.

با توجه به این‌که تمامی سویه‌های مورد استفاده در این پژوهش دارای توانایی تولید سیدروفور هستند (جدول ۳) و با توجه به یافته‌های این پژوهش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش معنی‌دار آهن در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌ها به‌واسطه ترشح سیدروفور و افزایش قابلیت جذب آهن خاک انجام شده است. همچنین بر اساس پژوهش مارشنر و رنگل (۲۰۰۷)، افزایش غلظت منگنز در برگ و دانه برنج را می‌توان به توانایی تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌های محرک رشد نسبت داد (۲۱). لیو و چانگ (۲۰۱۵) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش انحلال عناصر غذایی از جمله فسفر،

جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌ها علاوه بر میزان نیاز اندام مصرف‌کننده عناصر و اندازه و گستردگی سیستم جذب‌کننده به تحرک عناصر غذایی در خاک نیز بستگی دارد (۹). در این پژوهش مشاهده شد که تلقیح برنج با سویه‌های مختلف باکتری‌های سودوموناس فلورسنتس و سودوموناس پوتیدا در شرایط آبیاری با آب شور بر جذب عناصر منگنز، آهن، روی و مس در برگ و دانه برنج مؤثر بوده و باعث افزایش معنی‌دار این عناصر نسبت به سطح بدون تلقیح گردیده است.

بسیاری از ریزجانداران خاکزی علاوه بر تأثیر بر سیستم ریشه گیاه با مکانیسم‌های توانایی تولید و ترشح اسیدهای آلی و سیدروفور بر انحلال و جذب عناصر غذایی کم‌نیاز مؤثر هستند (۲۹ و ۳۰). به‌واسطه حضور سیدروفورها، قابلیت استفاده و تحرک آهن در منطقه ریزوسفر افزایش می‌یابد (۳۱). کمپلکس سیدروفور-

توانایی تولید آنزیم ACC د آمیناز بودند، ولی ممکن است این سویه‌ها دارای ویژگی‌های دیگری نیز باشند که پارامترهای مورد بررسی فوق را تحت تأثیر قرار دهد که از جمله آن ویژگی‌ها می‌توان تأثیر منفی سیانید هیدروژن (۳۶) و یا متابولیت‌های ثانویه من جمله اتیلن (۸) و اکسین زیاد (۲۶) را نام برد. جلیلی و همکاران (۲۰۰۹) نیز با بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت دارای فعالیت آنزیم ACC د آمیناز در تعدیل اثرات مضر شوری بر کلزا به نتایج مشابهی دست یافتند (۱۴).

نتیجه‌گیری کلی

تلقیح برنج با سویه‌های سودوموناس فلورسنتس و سودوموناس پوتیدا در شرایط آبیاری با آب شور دریا بر جذب عناصر منگنز، آهن، روی و مس در برگ و دانه برنج مؤثر بود و باعث افزایش معنی‌دار این عناصر نسبت به سطح بدون تلقیح گردید؛ بنابراین در شرایط شور (تا بالاترین سطح شوری در این پژوهش) و غیرشور می‌توان از همه سویه‌های مورد بررسی به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه استفاده نمود.

با توجه به نتایج این آزمایش‌ها، سویه‌های منتخب در تخفیف اثرات شوری بر گیاه برنج در شرایط گلدانی مؤثر بوده است، بنابراین پیشنهاد می‌شود که اثر این سویه‌ها، در آزمایش‌های مزرعه‌ای در محیط شور بر گیاه برنج نیز بررسی شوند.

پتاسیم، روی و آهن باعث افزایش جذب این عناصر توسط گیاه می‌شوند (۱۸). کاپولینک و همکاران (۱۹۸۵) نیز با بررسی تلقیح گندم با آروسپریلیوم گزارش کردند که تلقیح گندم سبب افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه شده و در شرایط کمبود مواد غذایی، آروسپریلیوم می‌تواند راندمان جذب عناصر غذایی را افزایش دهد (۱۵). بررسی تأثیر باکتری سودوموناس و قارچ میکوریز آربسکولار بر رشد و تغذیه آفتابگردان در شرایط تنش شوری نیز نشان داد که تلقیح بذر آفتابگردان با باکتری سودوموناس باعث افزایش معنی‌داری در جذب نیتروژن، فسفر، روی و مس شد (۳۳). همچنین بررسی جذب روی در گیاهان مختلف، افزایش جذب روی را در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد نشان داد (۳۷). نتایج این پژوهش با نتایج سادات و همکاران (۲۰۱۰) (۲۹) و لکزیو و همکاران (۲۰۱۰) (۱۹) و جعفری و همکاران (۲۰۱۵) (۱۲) نیز مطابقت داشت.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، بسیاری از گیاه برنج‌های تلقیح‌شده با باکتری سودوموناس پوتیدا ۱۱ و سودوموناس فلورسنتس ۱۶۹ بیش‌ترین عکس‌العمل را نسبت به تلقیح باکتری داشتند. در بین باکتری‌های مورد بررسی، با توجه به این‌که باکتری سودوموناس پوتیدا ۱۰۸ بیش‌ترین فعالیت ACC دی‌آمیناز را داشت، انتظار آن می‌رفت که در شرایط شور کارایی بهتری داشته باشد، ولی این امر محقق نشد. دلیل این امر را می‌توان گفت که هر چند باکتری‌های مورد استفاده در این پژوهش، دارای

منابع

1. Abbas Zadeh, P., Saleh Rastin, N., Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Soltani, A., Shoary-Nejati, A., and Miransari, M. 2010. Plant growth-promoting activities of fluorescent pseudomonads, isolated from the Iranian soils. *Acta Physiologiae Plantarum*. 32: 2. 281-288.
2. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Abdshah, H., Kazemian, A., and Rafiee, M. 2018. *Agricultural statistics*. Ministry of Agriculture, Department of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center, Volume I, 116p. (In Persian)

3. Asadi, R., Rezai, M., Yousefi Falakdeha, A., and Ashraf Zadeh, A. 2009. Possible to predict the effects of salinity Water on the performance of high-yielding rice varieties. In: 12th Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Conference, Pp: 455-462. (In Persian)
4. Bouizgarne, B. 2013. Bacteria for Plant Growth Promotion and Disease Management. P 15-47. In: D.K. Maheshwari (eds.) Bacteria in Agrobiolgy: Disease Management. Chapter 2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
5. Cottenie, A. 1980. Methods of plant analysis, Soil and plant testing: FAO Soils Bulletin 38/2. 120p.
6. DuNing, X., Lix, Y., Song, D., and Yang, G. 2007. Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis. Science in China Series D: Earth Sciences. 2: 261-273.
7. Egamberdieva, D., Kamilova, F., Validov, S., Gafurova, L., Kucharova, Z., and Lugtenberg, B. 2008. High incidence of plant growth-stimulating bacteria associated with the rhizosphere of wheat grown on salinated soil in Uzbekistan. Environmental Microbiology. 10: 1-9.
8. Frankenberger, W.T., and Arshad, M. 1995. Phytohormones in soils: production and function. Marcel Dekker, Inc., New York. 520p.
9. Grichko, V.P., and Glick, B.R. 2001. Ethylene and flooding stress in plants. Plant Physiology and Biochemistry. 39: 1-9.
10. Glick, B.R. 2010. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. Biotechnology advances. 28: 367-374.
11. IWMI. 2003. Water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for Improvements, Press Release: New research findings offer hope for the world water crisis, Nairobi November 3.
12. Jafari, S., Charm, M., Enayati Zamir, N., and Motamedi, H. 2015. Effect of two strain bacteria tolerance to salinity on barley growth in different soil salinity levels. J. Soil Biol. 2: 2. 187-196. (In Persian)
13. Jafari Rad, S., Zavareh, M., Khaledian, M., and Rezaeai, M. 2013. Evaluation of Resistance of Different Rice Genotypes two salinity water irrigation. The first national conference on agricultural water management, soil and water research institute. (In Persian)
14. Jalili, F., Khavazi, K., Pazira, E., Nejati, A., Rahmani, H.A., Sadaghiani, H.R., and Miransari, M. 2009. Isolation and characterization of ACC deaminase-producing fluorescent pseudomonads, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth. J. Plant Physiol. 166: 667-674.
15. Kapulnik, Y., Okon, Y., and Henis, Y. 1985. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation. Can. J. Microbiol. 31: 881-887.
16. Kukreja, S., Nandwal, A., Kumar, N., Sharma, S., Unvi, V., and Sharma, P. 2005. Plant water Status, H₂O₂ scavenging enzymes, ethylene evolution and membrane integrity of *Cicerarietinum* roots as affected by salinity. Biologia Plantarum. 49: 305-308.
17. Kohler, J., Hernandez, J.A., Caravaca, F., and Roldan, A. 2009. Induction of antioxidantenzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. Environmental and Experimental Botany. 65: 245-252.
18. Liu, X.M., and Zhang, H. 2015. The effects of bacterial volatile emissions on plant abiotic stress tolerance. Front Plant Science. 6: 774. 1-15.
19. Lixia, Y., Zhansheng, W., Yuanyuan, Z., Imdad, K., and Chun, L. 2010. Growth promotion and protection against salt stress by *Pseudomonas putida* Rs-198 on cotton. Europ. J. Soil Biol. 46: 49-54.
20. Marschner, H., and Romhold, V. 1994. Strategies of plants for acquisition of iron. Plant Soil. 165: 261-274.
21. Marschner, P., and Rengel, Z. 2007. Contributions of Rhizosphere Interactions to Soil Biological Fertility. P 81-98. In: K. Lynette, L.K. Abbott, and D.V. Murphy (eds.) Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Kluwer Academic Publishers.

22. Mayak, S., Tirosh, T., and Glick, B. R. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 42: 565-572.
23. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*. 25: 239-250.
24. Navabian, M., and Aghajani, M. 2012. Evaluating the effect of fresh and saline water irrigation management on Hashemi rice yield. *Science and technology of Agriculture and Nature (water and soil science)*. 16: 60. 45-55. (In Persian)
25. Numan, M., Bashir, S., Khan, K., Mumtaz, R., Shinwari, Z., Khan, A L., Khan, A., and AL-Harrasi, A. 2018. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. *Microbiological Research*. 209: 21-32.
26. Patten, C.L., and Glick, B.R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology*. 48: 3795-3801.
27. Penrose, M., and Glick, B.R. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiology of Plant*. 118: 10-15.
28. Rameesha, A., Sumaira, R., Kashif, A., Muhammad, B., Muhammad, S., Fathia, M., and Tahir, N. 2019. Halotolerant PGPR: A hope for cultivation of saline soils. *J. King Saud Univ. Sci*. 31: 1195-1201.
29. Sadat, A., Savaghebi, G.H., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., and shirmardi, M. 2010. Effects of some Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. *J. Water Soil*. 24: 1. 53-62. (In Persian)
30. Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., Gangurde, N.S., Chincholkar, S.B., and Patel, P.R. 2012. Siderophore Producing PGPR for Crop Nutrition and Phytopathogen Suppression. P 449-471. In: D.K. Maheshwari (ed.) *Bacteria in Agrobiolgy: Disease Management*. Springer, London.
31. Scavino, AF., and Pedraza, RO. 2013. The role of siderophores in plant growth-promoting bacteria. P 265-285. In: D. Maheshwari, M. Saraf, and A. Aeron (eds) *Bacteria in Agrobiolgy: Crop Productivity*. Springer, Berlin, Heidelberg.
32. Shahbaz, M., and Ashraf, M. 2013. Improving salinity tolerance in cereals, *Critical Reviews in Plant Sciences*. 32: 4. 237-249.
33. Shirmardi, M., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., Akbarzadeh, A., Farahbakhsh, M., Rejali, F., and Sadat, A. 2010. Effect of microbial inoculants on uptake of nutrient elements in two cultivars of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in saline soils. *Notulae Scientia Biologicae*. 2: 57-66.
34. Shahid, M., Mahmood, F., Hussain, S., Shahzad, T., Haider, M.Z., Noman, M., Mushtaq, A., Fatima, Q., Ahmed, T., and Mustafa, G. 2018a. Enzymatic detoxification of azodyes by a multifarious *Bacillus* sp. strain MR-1/2-bearing plant growth-promoting characteristic. *3 Biotech*. 8: 425. 1-12.
35. Shahid, M., Akram, M.S., Khan, M.A., Zubair, M., Shah, S.M., Ismail, M., Shabir, G., Basheer, S., Aslam, K., and Tariq, M. 2018b. A phyto-beneficial strain *Planomicrobium* sp. MSSA-10 triggered oxidative stress responsive mechanisms and regulated the growth of pea plants under induced saline environment. *J. Appl. Microbiol*. 124: 1566-1579.
36. Stougaard, J. 2000. Regulators and regulation of legume root nodule development. *Plant Physiology*. 124: 531-540.
37. Tariq, M., Hameed, S., Malik, K.A., and Hafeez, FY. 2007. Plant root associated bacteria for zinc mobilization in rice. *Pak. J. Bot*. 39: 1. 245-253.
38. Yasmeen, T., Tariq, M., Iqbal, S., Saleem Arif, M., Riaz, M., Shahzad, S., Noman, M., and Li, T. 2019. Ameliorative capability of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) against salt stress in plant. P 1-14. In: M.

- Hasanuzzaman, K. Hakeem, K. Nahar, and H. Alharby (eds.) Plant Abiotic Stress Tolerance. Springer, Cham.
39. Yehuda, Z., Shenker, M., Romheld, V., Marschner, H., Hadar, Y., and Chen, Y. 1996. The role of ligand exchange in the uptake of iron from microbial siderophores by garmineous plants. *Plant Physiology*. 112: 1273-1280.
40. Yu, J., Li, Y., Han, G., Zhou, D., Fu, Y., Wang, G., Ning, K., Wu, H., and Wang, J. 2014. The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River Delta. *Environmental Earth Sciences*. 72: 589-599.
41. Zabihi, H., Savaghebi, G., Khavazi, K., Ganjali, A., and Miransari, M. 2011. *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*. 33: 145-152.
42. Zahir, A.Z., 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 Microbiology*. 191: 415-424.



Effect of fluorescent pseudomonads with ACC deaminase activity on micronutrients concentration, root weight and biological yield of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress

*S. Rajabi Agereh¹, K. Khavazi², M.R. Ramezani³ and M. Afzali⁴

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization,

³Assistant Prof., Dept. of Soil and Water Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center,

⁴Research Lecture, Dept. of Soil and Water Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Received: 06.01.2019; Accepted: 01.01.2020

Abstract

Background and Objectives: Soil and water salinity is the major limiting factors for plant growth and crop production. Water and soil salinity almost limit plant growth through increasing osmotic pressure, specific toxicity of some ions such as sodium and chloride, and nutritional imbalance. In addition to, salinity stress reduces root and plant growth via increasing hormone level. One of the strategies to deal with salinity is inoculation of seeds with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). A number of growth-promoting bacteria increase plant growth under saline conditions by decreasing plant ethylene levels by deamination of ACC (ethylene synthesis precursor in plant). For determination of nutrient concentration, leaf and seed samples were prepared.

Materials and Methods: The effect of four strains of fluorescent pseudomonads on uptake of micronutrients in rice was studied under saline irrigation. Greenhouse tests were performed as factorial experiment in a completely randomized design with four replications. First factor was salinity water in five levels (0.7, 1.4, 2.8, 4.2 and 5.6 ds/m originated from sea water) and the second factor was pseudomonads strains (*Pseudomonas putida* 4, 11 and 108, and *Pseudomonas fluorescens* 169 and a non-inoculated control). Root of rice (cv. Tarom) transplants was inoculated with mentioned strains before planting in pots. During growth period, the pots were irrigated with the abovementioned saline water upto saturation point. In the flowering stage, flag leaf samples were collected to determine Manganese, Iron, Zinc and copper concentration. The content of micronutrients in seed samples was also measured.

Results: The effect of inoculation of fluorescent growth promoting bacteria with ACC deaminase production ability on root weight and biological yield of rice was significantly decreased with increasing salinity of irrigation water root weight and biological yield of rice. In all salinity levels, inoculation of rice with growth promoting bacteria increased root weight and biological yield of rice. The treatments inoculated with T₄ had the highest root weight and biological yield. The results showed that increasing the salinity level significantly reduced all microelements contents in the leaf and seed. Rice inoculation with different strains of *P. fluorescens* and *P. putida* affected on nutrients concentrations under saline irrigation and it increased content of the elements compared to control. At all salinity levels, maximum iron concentration observed by inoculation of roots with *P. fluorescent* 169.

* Corresponding Author; Email: s.rajabi@gmail.com

Conclusion: Inoculation of rice with various strains of fluorescent pseudomonads and *P. putida* affected the concentration of micronutrients under saline water irrigation in rice and caused to increase these elements more than control. Therefore, up to the highest salinity level, using strains of fluorescent pseudomonas can be growth up of rice plant in saline conditions.

Keywords: Nutrient elements, Plant Growth Promoting bacteria, Rice, Salinity of irrigation water

