نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۱۷-۳۱
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.361368.247

تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط آبیاری با آب شور

هوشنگ خسروی*

دانشیار پژوهش و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
hkhosravi@areeo.ac.ir

دریافت:۱۴۰۱/۱۱/۱۹ و پذیرش:۱۴۰۲/۶/۲۰

«مقاله پژوهشی»

چکیده

منابع زیادی از آب‌های شور وجود دارند که می‌توانند با روش‌های ویژه‌ای در کشاورزی استفاده شوند. با توجه به اینکه تنش شوری سبب کاهش رشد گیاهان ازجمله گندم می‌شود، بنابراین هرگونه فناوری که سبب افزایش تحمل گندم به تنش شوری شود دارای اهمیت زیادی است. کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) یکی از راهکارهای مبتنی بر توسعه پایدار برای کاهش اثرات تنش در گیاهان است. در این پژوهش از پنج سویه برگزیده از باکتری‌های PGPR که بر اساس ویژگی‌های محرک رشدی غربالگری شده بودند استفاده شد. توان تحمل سویه‌ها به شوری در مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر موردبررسی قرار گرفت. آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط تنش شوری در طی یک دوره ۱۰۰ روزه بر رشد گندم رقم نارین در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه مرکزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. تنش شوری از طریق آبیاری در چهار سطح، شامل آب معمولی (هدایت الکتریکی ۰/۴۰) و آب با قابلیت هدایت الکتریکی ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر اعمال شد. فاکتور مایه‌زنی شامل سطوح بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی با سویه‌های Pseudomonas putida P186، P. fluorescens P187، P. sp P241، Azotobacter chroococcum Azto478 و Azospirillum lipoferum A443 بود. مایه‌زنی به مقدار دو میلی‌لیتر به ازای هر بذر از زادمایه با جمعیت $1/5\times10^{8}$ cfu ml^{-1} در هنگام کاشت انجام شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که همه سویه‌ها تا شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر کاهش رشدی نشان ندادند. نتایج آزمون گلخانه‌ای نشان داد که آبیاری با آب شور بر همه شاخص‌های رشد اثرات کاهشی معنی‌داری داشت. تنش در سطوح ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵، ۳۵ و ۵۷ درصدی وزن تر اندام هوایی شد. همچنین سطوح یادشده به ترتیب باعث کاهش ۳۷/۵، ۵۰ و ۵۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد. وزن خشک ریشه ۸۰، ۸۷ و ۹۱ درصد کاهش یافت. ارتفاع بوته ۱۱، ۱۷ و ۱۸ درصد، طول خوشه ۱۶، ۲۵، ۳۱ درصد و تعداد خوشه ۲۳، ۳۱، ۴۵ درصد به ترتیب در سطوح مختلف شوری کاهش نشان دادند. مایه‌زنی با باکتری‌های برگزیده، تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌کدام از شاخص‌های رشد گندم در شرایط تنش شوری نشان نداد. در این پژوهش نتیجه‌گیری شد از دلایل عدم تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی در شرایط شور می‌تواند مقاوم بودن رقم نارین به شوری و عدم توان باکتری‌ها برای ایجاد تحمل بیشتر گیاه به شوری و یا بی‌تأثیر شدن خصوصیات محرک رشدی باکتری‌ها در این شرایط باشد.

واژه‌های کلیدی: زادمایه، رقم نارین، کود زیستی

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول:khosravi_1971@yahoo.co

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در ایران، وجود شوری در منابع خاک و آب است. از مجموع ۱۸ میلیون هکتار زمین‌های قابل‌کشت در ایران حدود ۶/۸ میلیون هکتار آن دارای درجات مختلفی از شوری هستند (مؤمنی، ۱۳۸۹). همچنین منابع آب شور با سطوح مختلف شوری در کشور فراوان است که مصرف پایدار این منابع برای مقاصد کشاورزی نیازمند راهکارها و روش‌های مدیریتی مبتنی بر پژوهش‌های کاربردی است. با کاربرد منطقی آب شور به‌عنوان یک منبع آب آبیاری، ضمن افزایش تولیدات کشاورزی می‌توان رقابت برای مصرف آب شیرین را کاهش داد؛ بنابراین برای افزایش تولید و بهره‌وری آب، استفاده از آب‌های شور در کشاورزی یک نیاز ضروری است (کیانی و آبیار، ۱۳۹۸).

پژوهش‌ها نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد گیاه[1] یا به‌اختصار PGPR دارای پتانسیل افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها مانند شوری و یا خشکی در گیاهان هستند (شیرین‌بیان و همکاران، ۲۰۱۹؛ خسروی و محمودی، ۱۳۹۲؛ خسروی، ۱۳۹۸). باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق سازوکارهای مختلفی شامل تأمین نیاز عناصر غذایی گیاه، تولید هورمون‌های محرک رشد ریشه، سیدروفور[2]، پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی[3]، آنزیم - ACC دآمیناز[4]، تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری مانند پتاسیم موجب بهبود رشد گیاهان می‌شوند که در انواع شرایط تنشی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند (خسروی، ۱۳۹۸). از مهم‌ترین باکتری‌های PGPR می‌توان به جنس‌های Pseudomonas، Azotobacter و Azospirillum اشاره نمود (اگامبردیوا و هولفیچ، ۲۰۰۲).

گندم مهم‌ترین محصول زراعی ایران بوده و حدود یک‌سوم از اراضی قابل‌کشت کشور معادل ۶/۷۵ میلیون هکتار به این محصول راهبردی اختصاص یافته است (بی‌نام، ۱۴۰۱). با توجه به اهمیت گندم و همچنین وجود معضل شوری در کشور به‌کارگیری راه‌کارهای مبتنی بر توسعه پایدار برای تولید محصولات کشاورزی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (خسروی، ۱۳۹۵). در پژوهشی اثر مایه‌زنی Pseudomonas fluorescens، P. putida و Azotobacter vinelandii در شرایط تنش شوری بر رشد ذرت معنی‌دار گزارش شده است (عبدالغنی و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهش دیگری، تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های برگزیده محرک رشد در تعدیل اثرات زیان‌بار شوری در دوره رشد رویشی گندم رقم قدس مثبت گزارش شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش از باکتری‌های بومی محرک رشد برگزیده‌ای استفاده شد که در پژوهش‌های پیشین اثرات معنی‌داری بر رشد گندم در شرایط تنش خشکی داشته‌اند (اوتادی، ۱۴۰۰). در این پژوهش، از گندم رقم نارین استفاده شد که به‌عنوان یک رقم برای مناطق شور و آبیاری با آب‌شور معرفی شده است. هدف از این پژوهش ارزیابی اثر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بومی ایران است که در شرایط تنش شوری قادر به افزایش تحمل بیشتر گندم رقم نارین باشند.

مواد و روش‌ها

تهیه زادمایه

برای تهیه زادمایه‌ها از پنج سویه برگزیده شامل Pseudomonas putida P186، P. fluorescens P187، P. sp P241، Azotobacter chroococcum Azto478 و Azospirillum lipoferum A443 استفاده شد. این سویه‌ها در پژوهش‌های پیشین از بین ۶۳ سویه از باکتری‌های بومی محرک رشد گیاه موجود در کلکسیون میکروبی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ازنظر خصوصیات منسوب به محرک رشد گیاه، غربالگری شده بودند (اوتادی، ۱۴۰۰). ویژگی‌های محرک رشد گیاه سویه‌های گفته‌شده شامل توان تولید هورمون ایندول استیک اسید، سیدروفور، اگزوپلی‌ساکارید و آنزیم ۱-

1 Plnat Growth Promoting Rhizobacteria
2 - Siderophore
3 - Exopolysaccharides
4 - ACC-deaminase

آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC)[5] -دآمیناز، توان انحلال فسفات‌های آلی و معدنی و حل‌کنندگی ترکیب‌های نامحلول آهن و قابلیت آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مسکوویت[6] و بیوتیت[7] که در جدول یک نشان داده‌شده است (اوتادی، ۱۴۰۰).

بررسی تحمل به شوری باکتری‌ها در شرایط محیط کشت

توان تحمل سویه‌ها به شوری در محیط‌های کشت جامد حاوی نمک کلرید سدیم و درون پتری‌دیش[8] در مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر مورد بررسی قرار گرفت. برای Azotobacter از محیط کشت اختصاصی وینوگرادسکی، Azospirillum از محیط آر-سی و برای Pseudomonas از محیط کشت کینگ-بی استفاده شد. محیط کشت اختصاصی هر باکتری قبل از استریل نمودن، با استفاده از مقادیر گفته‌شده نمک مخلوط و پس از اتوکلاو کردن درون پتری‌دیش‌ها تقسیم شد. پتری‌دیش‌ها درون انکوباتور با دمای ۲۸ درجه سلسیوس به مدت یک هفته نگهداری شدند. درنهایت قطر کلنی‌ها اندازه‌گیری و درصد کاهش رشد کلنی در مقادیر مختلف قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به شاهد محاسبه شد (شارما و همکاران، ۲۰۲۱).

تهیه و آماده‌سازی خاک مورداستفاده در کشت گلخانه‌ای

خاک مورداستفاده در کشت گلخانه‌ای از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر مزرعه ایستگاه تحقیقات مرکزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کرج به مختصات جغرافیایی 35°45'26.8"N 50°57'17.1"E تهیه شد. آزمون بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. مقدار نیتروژن کل به روش کجلدال، پتاسیم قابل‌جذب با روش استات آمونیوم یک نرمال و فسفر قابل‌جذب با روش اولسن اندازه‌گیری شد. عناصر روی، آهن، مس و منگنز قابل‌جذب با استفاده از روش عصاره‌گیری خاک با DTPA[9] و قرائت عناصر یادشده در عصاره گرفته‌شده با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی[10] انجام شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۲۰۱۴). هدایت الکتریکی[11] (EC) و اسیدیته (pH) در عصاره اشباع خاک، کربن آلی با روش والکی-بلاک[12]، درصد شن، سیلت و رس خاک با روش هیدرومتری تعیین شد. رطوبت ظرفیت مزرعه[13] (FC) با استفاده از روش صفحه تحت‌فشار در ۰/۳ بار محاسبه شد. رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)[14] با استفاده از روش صفحه تحت‌فشار در ۱۵ بار اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۲۰۱۴). ویژگی‌های آب آبیاری مورداستفاده شامل نسبت جذب سدیم (SAR)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر و سولفات نیز با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (خانا و بوتیانی، ۲۰۰۸).

بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری

برای بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر، نخست، بذور گندم با استفاده از الکل ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه سترون سطحی شدند. به‌منظور حذف هیپوکلریت، بذرها با استفاده از آب مقطر استریل، ۱۰ بار شستشو شده و به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود لامینار قرار داده شدند. بذرهای استریل سطحی شده به‌منظور جوانه‌زنی به پتری-دیش‌های دارای آب-آگار ۱ درصد (در سه تکرار) حاوی مقادیر مختلف شوری از منع کلرید سدیم منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند (کوردازو، ۱۹۹۹).

5 - 1-Aminocyclopropane 1-carboxylic acid (ACC)
6 - Muscovite
7 - Biotite
8 - Petri dish

9 - Diethylenetriaminepentaacetic acid
10 - Atomic absorption spectrometry
11- Electrical conductivity
12 -Walkley-Black
13 -Field Capacity
14 -Permanent Wilting Point

جدول ۱- مشخصات محرک رشدی باکتری‌های برگزیده (اوتادی، ۱۴۰۰)

سویه باکتری	ایندول استیک اسید	انحلال فسفر معدنی	انحلال فسفر آلی	آزادسازی پتاسیم از مسکوویت	آزادسازی پتاسیم از بیوتیت	تولید اگزوپلی‌ساکارید	انحلال ترکیب‌های نامحلول آهن	تولید سیدروفور	تولید آنزیم ACC-دآمیناز
	$\mu g.ml^{-1}$					$g.lit^{-1}$	قطر هاله به کلونی		
A. Lipoferum A443	۲۴/۹	۳۴/۲	۴۰/۳۵	۱۶/۶۷	۲۹/۵۹	۰	۱/۹	۱/۴۲	۰/۷۰
A. chroococcum Azto478	۲۷/۸۹	۲۷/۰۶	۱۷/۲۷	۵/۳۳	۷/۳۳	۴/۷۹	۰	۰	۰/۴۴
P. putida P186	۸/۰۰	۲۷۴/۱۸	۴۶/۵۱	۲۲/۳۳	۱۵/۸۶	۵/۲۱	۳/۵۵	۲/۳۳	۰/۷۰
P. fluorescens P187	۴۳/۹۰	۳۳۴/۳۱	۷۴/۷۸	۱۴/۳۱	۱۳/۷۹	۵/۳۸	۳/۷۷	۱/۹۲	۰/۷۲
P. sp P241	۴۴/۹۳	۲۱۴/۱۵	۴۸/۵۵	۱۴/۳۸	۱۶/۴۵	۵/۹۲	۳/۸۸	۱/۶۶	۰/۵۵

جدول ۲- تحمل سویه‌های برگزیده به مقادیر مختلف هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)

سویه باکتری	محیط کشت معمولی	EC=5			EC=10			EC=15			EC=20		
	*قطر کلنی شاهد	قطر کلنی	اختلاف قطر کلنی با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد	قطر کلنی	اختلاف با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد	قطر کلنی	اختلاف با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد	قطر کلنی	اختلاف با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد
A. chroococcum Azto478	۸	۵	۳	۳۸	۵	۳	۳۸	۳	۵	۶۳	۲	۶	۷۵
A. lipoferum A443	۴	۴	۰	۰	۴	۰	۰	۳	۱	۲۵	۳	۱	۲۵
P. putida P186	۸	۷	۱	۱۳	۷	۱	۱۳	۷	۱	۱۳	۶	۲	۲۵
P. fluorescens P187	۷	۷	۰	۰	۷	۰	۰	۷	۰	۰	۶	۱	۱۴
P. sp P241	۷	۶	۱	۱۴	۶	۱	۱۴	۵	۲	۲۹	۵	۲	۲۹

*واحد قطر کلنی‌ها بر اساس سانتیمتر است

طرح آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح کامل تصادفی و در سه تکرار از بهمن ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ۱۴۰۱ و در گلخانه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب اجرا شد. بذر گندم مورداستفاده رقم نارین بود که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. در این پژوهش از گلدان‌های پلاستیکی ۳۰۰ گرمی به ارتفاع ۲۳ و قطر دهانه ۲۹ سانتی‌متر و دارای زهکش استفاده شد. هر گلدان با ۸ کیلوگرم خاک عبور داده‌شده از الک ۵ میلی‌متری پر شد. در هر گلدان، چهار عدد بذر جوانه‌دار شده کشت شد که پس از یک هفته گیاهان تُنُک شده و سه گیاه در هر گلدان نگهداری شد. برای تهیه زادمایه‌ها، هر سویه خالص باکتری برگزیده در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی محیط کشت اختصاصی وینوگرادسکی[15] برای Azotobacter و محیط کشت نوترینت‌براث[16] برای Pseudomonas و Azospirillum کشت شدند.

ارلن‌های حاوی باکتری به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس روی شیکر-انکوباتور با ۱۴۰ دور بر دقیقه قرار گرفتند. مایه‌زنی به مقدار دو میلی‌لیتر به ازای هر بذر از زادمایه با جمعیت زادمایه (cfu) $۱/۵\times۱۰^{۸}$ در هنگام کاشت انجام شد (میشرا و بارولیا، ۲۰۲۰). جمعیت باکتری‌ها با روش محتمل‌ترین تعداد (MPN)[17] اندازه‌گیری شد (وومر، ۱۹۹۴).

شوری در چهار سطح شامل آبیاری با آب معمولی با قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۴۲ (S0)، ۶ (S1)، ۱۰ (S2) و ۱۴ دسی زیمنس بر متر (S3) اعمال شد. برای اعمال تنش شوری با رعایت نسبت جذب سدیم[18] (SAR) از سه کاتیون سدیم، کلسیم و منیزیم که کاتیون-های غالب خاک‌های شور هستند استفاده شد. این کاتیون-ها از نمک‌های کلرید سدیم (NaCl)، سولفات منیزیم ($MgSO_4.6H_2O$) و کلرید کلسیم ($CaCl_2.2H_2O$) تأمین شدند. برای این منظور SAR آب آبیاری ۱۰ در نظر گرفته شد.

با توجه به نتیجه آزمون خاک برای جبران کمبود عناصر، در ابتدای کشت از محلول غذایی استفاده شد. عنصر نیتروژن، به شکل اوره و تقسیط در سه مرحله شامل یک هفته پس از کاشت، مرحله ساقه رفتن و مرحله خوشه رفتن مصرف شد (خادمی و اسدی، ۱۳۹۰).

در طول دوره کشت، برای همه تیمارها رطوبت خاک بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد FC به روش وزنی تأمین شد. پس از ۱۰۰ روز، اندام هوایی گیاه از محل طوقه جدا و ریشه‌ها نیز با غوطه‌وری گلدان‌ها در آب برداشت شدند. فاکتورهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، طول خوشه و تعداد خوشه اندازه‌گیری شدند. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistics 10 و با روش ANOVA یک‌طرفه انجام شد. میانگین‌ها با روش LSD[19] و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تحمل سویه‌ها به سطوح مختلف تنش شوری در شرایط آزمایشگاهی

نتایج بررسی توان تحمل سویه‌های برگزیده به سطوح مختلف تنش شوری در شرایط آزمایشگاهی در جدول دو نشان داده‌شده است. سویه P187 تا شوری ۱۵ دسی زیمنس بر متر هیچ کاهش رشدی نشان نداد و در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر فقط ۱۴ درصد نسبت به شاهد کاهش رشد نشان داد؛ بنابراین P187 به‌عنوان مقاوم‌ترین سویه به شوری در شرایط آزمایشگاهی معرفی شد. کمترین رشد باکتری در شوری‌های مختلف مربوط به سویه Azto478 بود بطوریکه در شوری ۱۵ و ۲۰ به ترتیب ۶۳ و ۷۵ درصد کاهش رشد نشان داد. درهرحال اگرچه با افزایش سطح شوری سایر سویه‌ها دچار کاهش رشد شدند اما توقف رشدی مشاهده نشد. با توجه به اینکه در این بررسی بیشترین شوری آب آبیاری برای

15 - Winogradesky
16 - Nutrient Broth
17 - Most Probable Number
18 - Sodium Adsorption Ratio
19 - Least Significant Difference

آزمون گلخانه‌ای ۱۴ دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته شده بود لذا مشکلی بابت رشد باکتری‌ها در این شرایط گلخانه‌ای وجود نداشت.

گزارش‌شده است که باکتری‌های برگزیده ریزوسفری در شرایط آزمایشگاهی و در سطوح مختلف شوری حداکثر تا ۶۰۰ میلی‌مولار (۶۴ دسی زیمنس بر متر) رشد قابل‌توجهی از خود نشان دادند (سرچشمه‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین گزارش‌شده است که باکتری‌های P. fluorescens تحمل زیادی به شوری تا ۶۰۰ میلی‌مولار (معادل ۵۵ دسی زیمنس بر متر) در محیط دارای کلرید سدیم در شرایط آزمایشگاهی داشتند (آزادیخواه و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعه دیگری، تحمل به شوری باکتری‌های محرک رشد جداسازی شده از ریزوسفر گیاه جو معنی‌دار گزارش‌شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷).

نتایج بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در سطوح مختلف شوری

درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری در جدول سه نشان داده‌شده است. بذر گندم مورداستفاده در این پژوهش، رقم نارین بود که در پژوهش‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌عنوان رقم گندم مقاوم به شوری معرفی‌شده است (امینی‌سفیداب، ۱۳۹۶). یکی از نگرانی‌های کشاورزان استقرار مطلوب گیاه در مناطق خشک و شور است و مرحله جوانه‌زنی یکی از مراحل مهم و حساس به تنش شوری است؛ بنابراین، انتخاب رقم مناسب برای گذر از این مرحله اهمیت زیادی دارد.

نتایج آزمون خاک و آب مورداستفاده درکشت گلخانه‌ای

نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مورداستفاده در کشت گلخانه‌ای در جدول چهار و ویژگی‌های آب مورداستفاده جهت آبیاری در جدول پنج ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج بررسی درصد جوانه‌زنی بذر گندم رقم نارین در سطوح مختلف شوری

قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	جوانه‌زنی بذر (٪)
۰	۱۰۰
۲	۱۰۰
۴	۱۰۰
۶	۹۷/۳۳
۸	۹۴
۱۰	۹۱
۱۴	۸۹/۳۳

جدول ۴- نتایج آزمون خاک مورداستفاده جهت کشت گلخانه‌ای

pH	EC	بافت	رس	شن	سیلت	کربن آلی	FC	PWP	نیتروژن کل	TNV* معادل درصد آهک	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	روی	مس	آهن	منگنز
	$dS.m^{-1}$		درصد								$mg.kg^{-1}$					
۷/۷۸	۱/۴۴	لومی رسی شنی	۲۸	۴۶	۲۶	۰/۶۵	۱۸/۲۵	۱۱/۹۳	۰/۰۷	۱۴/۵۰	۲۸۵	۱۲/۶۰	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۸۰	۵/۴۶

* Total Nutralizig Value

جدول ۵- نتایج آزمون آب مورداستفاده جهت آبیاری در کشت گلخانه‌ای

EC	pH	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلر	سولفات	نیترات	کلسیم/ منیزیم	SAR*
$dS.m^{-1}$		$mmol.l^{-1}$								
۰/۴۲	۷/۹۲	۰/۰۱۵	۱/۸۷	۰/۸۴	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۶۹	۰/۳۱	۳/۵۴	۱/۸۰

* نسبت جذب سدیم

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تیمار مایه‌زنی، تنش شوری و برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های رشد گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	طول خوشه (سانتیمتر)	تعداد خوشه
مایه‌زنی	۵	۳۲/۳ ns	۲۱/۲ ns	۱/۲ ns	۹/۰ ns	۰/۶ ns	۳/۳ ns
تنش شوری	۳	۱۵۳۰/۷ **	۹۷۱/۰**	۱۹۸/۷**	۴۷۴/۷**	۲۳/۴**	۷۲/۵**
مایه‌زنی× تنش شوری	۱۵	۴۲/۶ns	۲۰/۱ns	۱/۰ns	۲۰/۲ns	۱/۴ns	۳/۲ns
خطا	۴۶	۲۹/۵	۹/۶	۱/۶	۲۶/۸	۱/۰	۳
ضریب تغییرات (CV)		۲۰	۱۷/۴	۲۰	۹/۳	۱۴/۴	۲۱/۶

ns؛ غیر معنی‌دار، *؛ معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **؛ معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر شاخص‌های رشد

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سطوح تنش شوری، سطوح مایه‌زنی با باکتری و اثرات متقابل شوری و مایه‌زنی بر شاخص‌های وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول خوشه و تعداد خوشه در جدول شش ارائه شده است. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد تنش شوری بر همه شاخص‌های مذکور اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشته است. مایه‌زنی با باکتری‌های مورداستفاده و اثر متقابل مایه‌زنی و شوری تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌کدام از شاخص‌های رشد نشان نداد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر وزن تر اندام هوایی

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن تر اندام هوایی در شکل یک نشان داده شده است. بر این اساس، آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵، ۳۵ و ۵۷ درصدی وزن تر اندام هوایی شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی

در شکل دو مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک اندام هوایی نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۳۷/۵، ۵۰ و ۵۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر وزن خشک ریشه

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک ریشه در شکل سه نشان داده شده است. بر این اساس، آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۸۰، ۸۷ و ۹۱ درصدی وزن خشک ریشه شد که بیشترین اثر منفی شوری بر شاخص‌های رشد بود.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر ارتفاع بوته

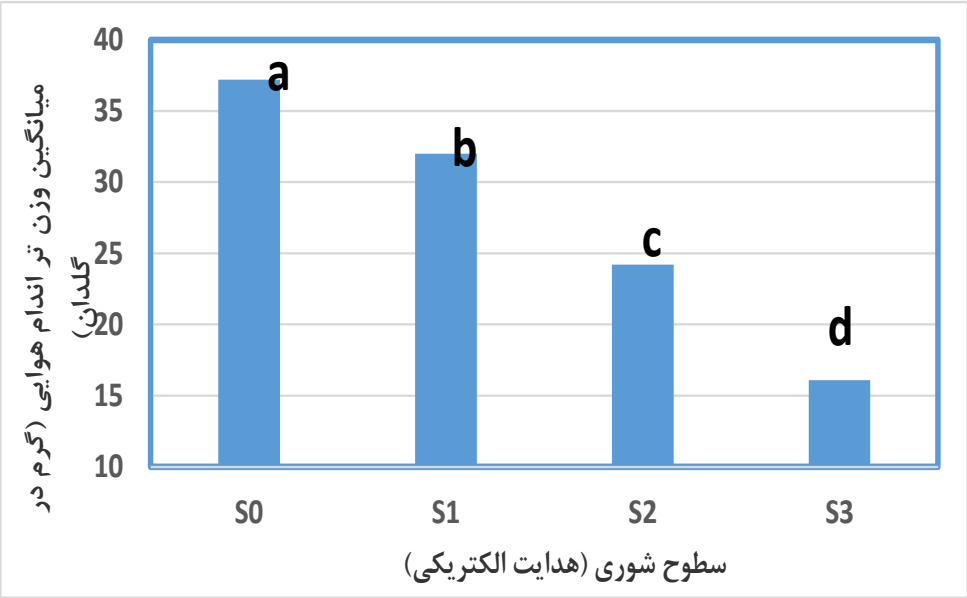
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر ارتفاع بوته در شکل چهار نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۱، ۱۷ و ۱۸ درصدی ارتفاع بوته شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر طول خوشه

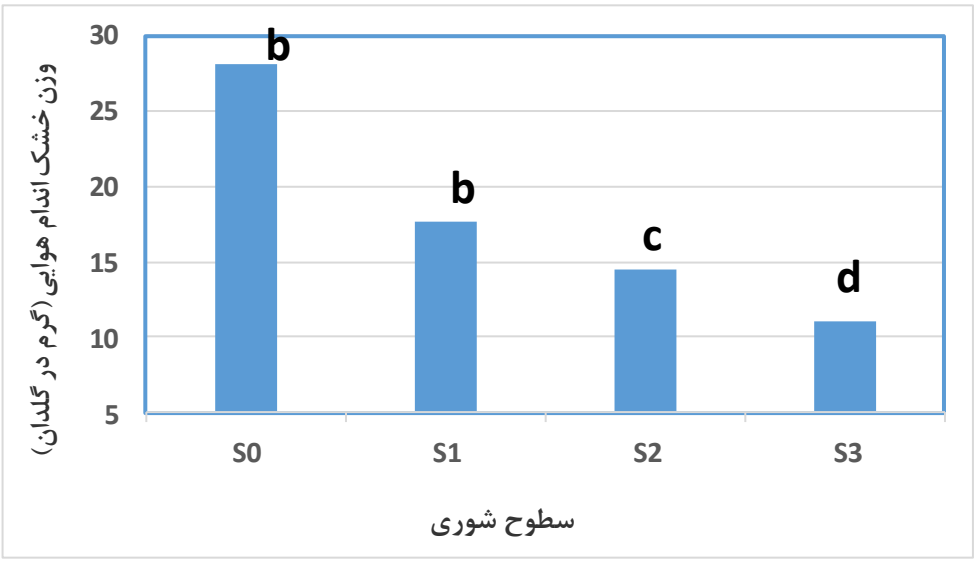
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر طول خوشه در شکل پنج نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۶، ۲۵ و ۳۱ درصدی طول خوشه شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر تعداد خوشه

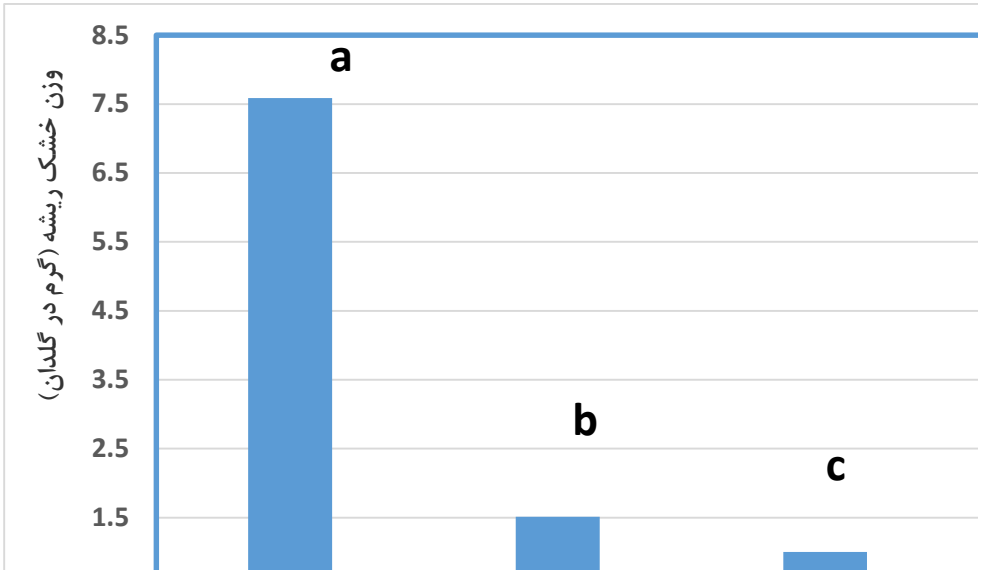
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر تعداد خوشه در شکل شش نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۲۳، ۳۱، ۴۵ درصدی تعداد خوشه شد.



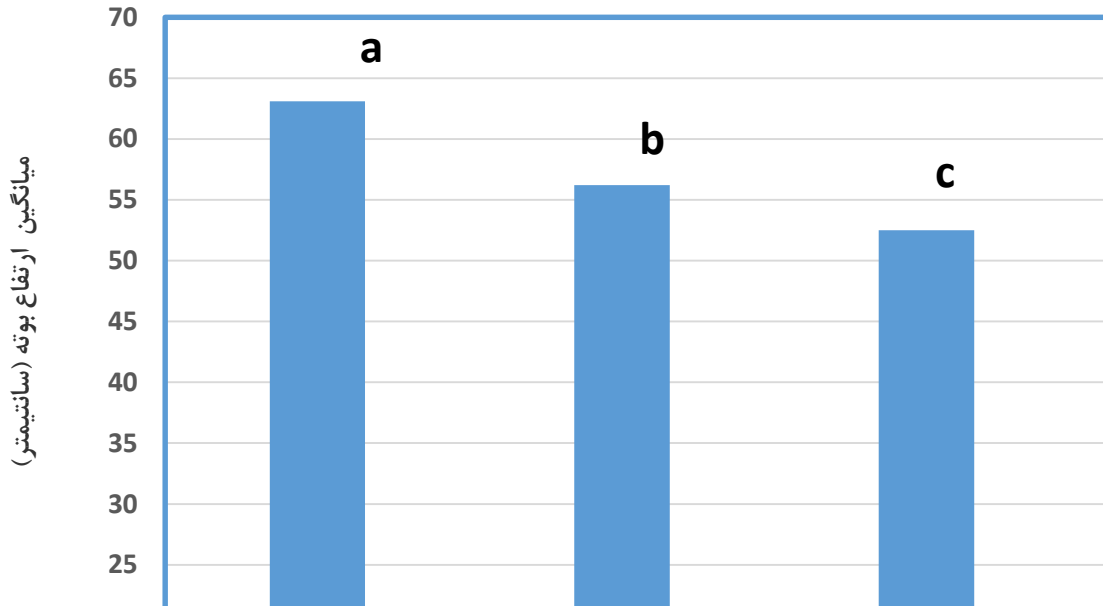
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن تر اندام هوایی
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)



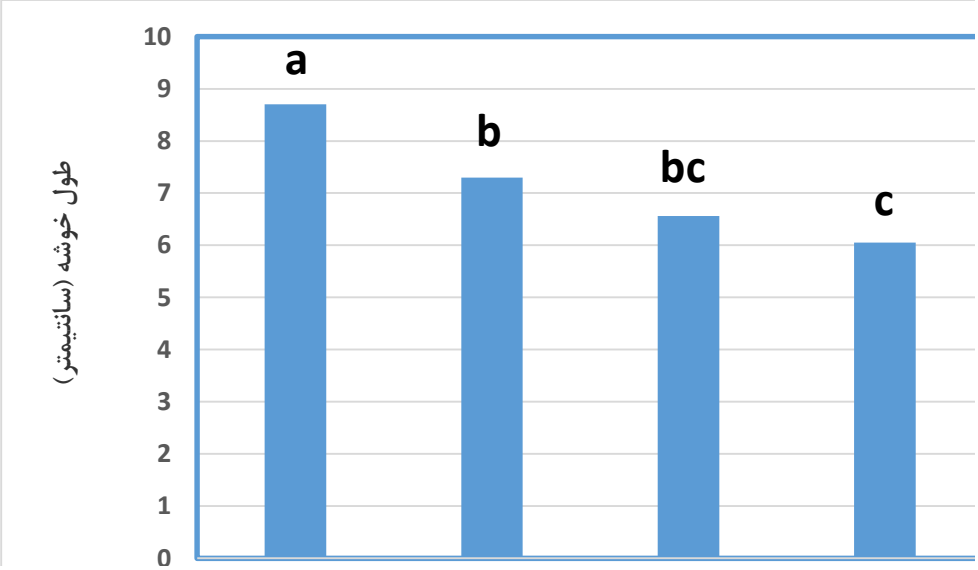
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک اندام هوایی
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



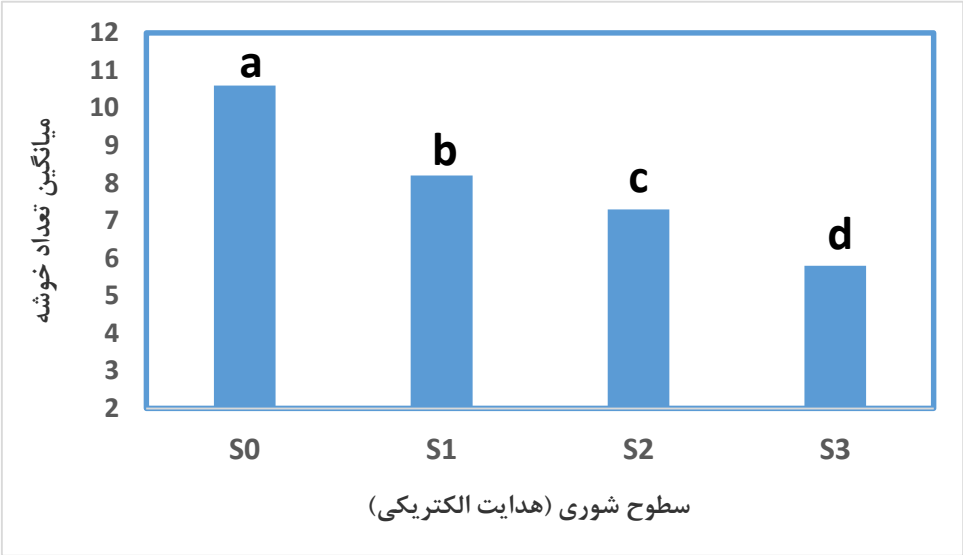
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک ریشه
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر ارتفاع بوته
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر طول خوشه
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر تعداد خوشه
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)

نتایج آزمایشگاهی این پژوهش نشان داد که اگرچه باکتری‌ها، ویژگی‌های منسوب به محرک رشد خوبی داشتند و همچنین در شوری‌های زیاد در کشت درون شیشه‌ای توانایی رشدی خوبی از خود نشان دادند بااین‌حال در شرایط گلخانه‌ای و در محیط خاک، مایه‌زنی آن‌ها به گندم رقم نارین در شرایط تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم نداشت؛ بنابراین عدم موفقیت مایه‌زنی در کاهش اثرات تنش شوری را بایستی در موضوعاتی غیر از توانایی رشد آن‌ها در شرایط شور جستجو کرد. یکی از دلایل این می‌تواند باشد که در این پژوهش ویژگی‌های منسوب به محرک رشد گیاه بر اساس دستورالعمل‌ها و روش‌های موجود در شرایط محیط کشت آزمایشگاهی و بدون تنش شوری اندازه‌گیری شد و سپس اثر مایه‌زنی آن‌ها در شرایط تنشی بر رشد گیاه بررسی شد؛ بنابراین اگر سویه‌ای در شرایط بهینه آزمایشگاهی، توانایی تولید هورمون محرک رشدی را

نشان دهد ممکن است در شرایط تنشی ازجمله شوری این ویژگی را بروز ندهد (احمد و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، این ویژگی‌های در شرایط خاک نیز پیچیده‌تر خواهد بود. گزارش شده که همیشه نمی‌توان با قاطعیت ویژگی‌های رشد و فعالیت باکتری‌ها در شرایط تنشی به شرایط محیط طبیعی و شرایط خاک و یا کشت درون شیشه‌ای تعمیم داد (وسی، ۲۰۰۳).

گزارش شده که غلظت‌های بالای نمک بر ویژگی‌های منسوب به محرک رشد گونه‌های مختلف Pseudomonas ازجمله تولید اکسین، سیدروفور و توانایی حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول اثرات منفی دارد (دشوال و کومار، ۲۰۱۳). در پژوهش دیگری تعداد ۱۰۰ جدایه باکتری ریزوسفری از دو گیاه متحمل به شوری جداسازی و ویژگی‌های محرک رشدی آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی بررسی و ۲۲ سویه برگزیده در شرایط شور به گیاه جو مایه‌زنی شدند. نتایج نشان داد که بهترین سویه‌ها که در شرایط آزمایشگاهی بالاترین مقادیر را در ویژگی‌های محرک رشدی نشان داده بودند هیچ تأثیری بر رشد گیاه نشان ندادند. برعکس سویه‌ای که در شرایط آزمایشگاهی ویژگی‌های محرک رشدی خوبی نشان نداده بود سبب افزایش قابل‌توجه رشد گیاه شد (کاردینال و همکاران، ۲۰۱۵). گزارش شده که دوسوم از سویه‌های Rhizobium در شرایط شور کارایی تولید اکسین را نداشتند (پرابهاواتی و ملالاه، ۲۰۰۹). گزارش‌های متفاوت و متضادی نیز در این زمینه وجود دارد. در این مورد اثر مایه‌زنی Rhizobium بر رشد گندم رقم تجن در شرایط تنش شوری ۷ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر معنی‌دار گزارش‌شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۷۸) تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد بر گندم رقم قدس بر وزن خشک ریشه و ساقه و وزن خشک کل، در شرایط تنش شوری نشان داد که مایه‌زنی با باکتری‌های برگزیده Bacillus atrophaeus،Bacillus amyloliquefaciens و Enterobacter aerogenes در تعدیل تأثیر زیان‌بار شوری در دورهٔ رشد رویشی گندم با تأثیر معنی‌دار گزارش شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷).

لازم به ذکر است که سویه‌های مورداستفاده در این پژوهش، در پژوهش‌های پیشین اثرات معنی‌داری بر رشد گندم رقم رخشان در شرایط تنش خشکی نشان دادند. در آن پژوهش وزن خشک دانه به‌عنوان مهم‌ترین شاخص رشد گندم در تنش مربوط به ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه در اثر تلقیح با P. fluorescens P187، نسبت به شاهد بدون تلقیح ۷۰ درصد افزایش نشان داد. تلقیح در تنش مربوط به ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک دانه نداشت اما وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. (اوتادی، ۱۴۰۰). در تائید این موضوع، در تحقیقی به‌منظور کنترل تنش خشکی در گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد مشخص شد که مایه‌زنی به‌طور زیادی میزان آسیب حاصل از تنش خشکی را کاهش داد (کاسیم، ۲۰۱۳). در گزارشی اثر مایه‌زنی ذرت با Azotobacter موجب کاهش اثرات تنش خشکی شد (خسروی، ۱۳۹۸). مایه‌زنی ذرت با Azotobacter و Azospirillum تحت تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد بالاترین میزان ارتفاع بوته، ردیف بلال، تعداد دانه و وزن هزار دانه را ایجاد کرد (ناصری و همکاران، ۲۰۱۳).

استنتاج از این موضوع این می‌تواند باشد که سازوکارهای مؤثر باکتری بر رشد گیاه ممکن است در شرایط شور در این آزمایش تحت تأثیر منفی شوری قرار بگیرند اما در شرایط خشکی چنین اثر منفی رخ نداده باشد.

پیشنهاد شده است که برای حصول نتیجه بهتر در غربالگری باکتری‌های محرک رشد بایستی سازوکارهای محرک رشد دیگری را جستجو و موردبررسی قرارداد (وسی، ۲۰۰۳). گزارش شده است که موفقیت مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد در افزایش مقاومت گیاهان به شرایط تنشی به نوع و رقم گیاه، نوع تنش و میزان آن، وضعیت ویژگی‌های محرک رشدی و سایر شرایط محیطی بستگی دارد (وسی، ۲۰۰۳).

موضوع دیگر این است که رقم مورداستفاده در این پژوهش (نارین) رقمی است که برای مناطق شور توصیه‌شده است بااین‌حال عملکرد آن در سطوح مختلف شوری ۱۰۰ درصد نخواهد بود. در پژوهش‌های کاربردی، هدف، افزایش عملکرد محصول با اتخاذ راه‌کارهای مختلف است؛ لذا در این پژوهش هدف آن بود که حداقل عملکرد اندام هوایی این رقم در شوری‌های مختلف افزایش داده شود که متأسفانه محقق نشد. استفاده از ارقام حساس به شوری ممکن بود نتیجه مطلوبی داشته باشد بااین‌حال با توجه به وجود ارقام مقاوم به شوری همانند نارین، چنان پژوهشی منطقی و هدفمند نمی‌بود. درهرصورت بررسی اثر باکتری‌های حاصل از این پژوهش در شرایط شور نیاز به تحقیقات تکمیلی دارد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی غربالگری باکتری‌ها ازنظر ویژگی‌های محرک رشدی در شرایط تنش شوری نیز انجام شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش گلخانه‌ای اثر مایه‌زنی ۵ سویه برتر غربالگری شده از باکتری‌های محرک رشد بومی خاک‌های ایران شامل Pseudomonas، Azotobacter و Azospirillum بر رشد گندم رقم نارین در شرایط آبیاری با آب شور موردبررسی قرار گرفت. نتایج در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که باکتری‌های برگزیده در ۲۰ شوری دسی زیمنس بر متر رشد کردند. آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که آبیاری با آب شور تأثیر کاهشی معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم داشت. مایه‌زنی، تأثیر معنی‌داری بر کاهش اثرات سوء شوری بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول خوشه و تعداد خوشه نشان نداد. عدم موفقیت مایه‌زنی در مقابله با تنش شوری می‌تواند به علت مقاوم بودن رقم گندم به شوری و یا ناکارآمد شدن ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌ها در شرایط شور و به‌ویژه در محیط پیچیده خاک باشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های تکمیلی، در مرحله غربالگری، باکتری‌های برگزیده ازنظر ویژگی‌های محرک رشدی در شرایط آزمایشگاهی، در شرایط تنش شوری غربالگری شوند.

فهرست منابع

۱. امینی سفیدآب ا.، اکبری مقدم ح.، صابری م.ح.، طباطبایی م.ت.، افیونی د.، راوری ذ.، محمدی ع.، افشاری ف.، ذاکری ع.، حسینی م.ع.، اکبری ع.، حاجی آخوندی میبدی ه. ۱۳۹۶. نارین، رقم جدید گندم آبی با سازگاری و عملکرد بالا مناسب برای مناطق با تنش شوری خاک و آب در اقلیم معتدل و معتدل گرم کشور. یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، ۶(۲): ۱۷۴-۱۳۵.

۲. اوتادی ا. ۱۴۰۰. پتانسیل کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط تنش کم‌آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک. ۹۶ صفحه.

۳. بی‌نام. ۱۴۰۱. گزارش برآورد سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی ۹۸-۱۴۰۰-۱۳۹۹. مرکز اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی، ۹۱ صفحه.

۴. خادمی ز. و اسدی ف. ۱۳۹۰. مدیریت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مراحل مختلف رشد گندم. نشریه فنی شماره ۵۰۳.

۵. خسروی ه. ۱۳۹۵. نقش باکتری‌های مفید خاک‌زی در مدیریت تولید محصول در اراضی شور و خشک از طریق کاهش اتیلن تنشی در گیاه. نشریه مدیریت اراضی، ۴(۱): ۴۳-۳۳.

۶. خسروی ه. ۱۳۹۸. واکنش ذرت به تلقیح با Azotobacter در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳، شماره ۱: ۳۸-۲۹.

۷. خسروی ه. و ح. محمودی. ۱۳۹۲. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۱۹-۲۰۵.

۸. خسروی، ه.، ح. علیخانی و ب. یخچالی. ۱۳۷۸. بررسی اثر سویه‌های ریزوبیوم دارای آنزیم ACC daminase بر رشد گندم در شرایط تنش شوری. مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، ۳۹(۱):۱۰۳-۹۳.

۹. سرچشمه پور، م.، ثواقبی، غ.، صالح راستین، ن.، ناهید، علیخانی، ح. و پوربابایی، ا. ۱۳۸۸. جداسازی، غربالگری، شناسایی نسبی و تعیین تحمل به تنش شوری و خشکی جدایه های برتر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) درختان پسته. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰(۲): ۱۹۰-۱۷۷.

۱۰. صفدریان م., عسکری ح.، سلطانی‌نجف‌آبادی م.، نعمت‌زاده ق. ۱۳۹۷. تأثیر باکتری‌های محرک رشد مقاوم به شوری بر رشد و مقاومت گندم تحت تنش شوری. علوم گیاهان زراعی ایران, ۴۹(۱): ۵۶-۴۵.

۱۱. علی احیائی، م .و ع .ا .بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک .سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۸، جلد اول، ۱۲۹ صفحه.

۱۲. کیانی، ع. و آبیار، ن. ۱۳۹۸. استفاده از آب‌های شور برای تولید پایدار گندم. مدیریت آب در کشاورزی، ۶(۲): ۲۰-مؤمنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۴(۳): ۲۱۵-۲۰۳.

13. Abd El-Ghany, T.M., Masrahi, Y.S., Mohamed, A., Abboud, A., Alawlaqi, M.M. and Elhussieny, A. (2015). Maize (Zea mays L.) growth and metabolic dynamics with plant growth-promoting rhizobacteria under salt stresses. Journal of Plant Pathology and Microbiology, 6(305), p.2.
14. Ahmad, I., Pichtel, J. and Hayat, S., eds. (2008). Plant-bacteria Interactions: Strategies and techniques to promote plant growth: John Wiley & Sons. 330p.
15. Azadikhah, M., Jamali, F., Nooryazdan, H.R. and Bayat, F. (2017). Screening Pseudomonas fluorescens strains for plant growth promoting properties and salinity tolerance. Biological Journal of Microorganism, 6(23), pp.95-107.
16. Cardinale, M., Ratering, S., Suarez, C., Montoya, A.M.Z., Geissler-Plaum, R. and Schnell, S. (2015). Paradox of plant growth promotion potential of rhizobacteria and their actual promotion effect on growth of barley (Hordeum vulgare L.) under salt stress. Microbiological Research, 181, pp.22-32.
17. Cordazzo, C.V., 1999. Effects of salinity on seed germination, seedling growth and survival of Spartina ciliata Brong. Acta Botanica Brasilica, 13, pp.317-322.
18. Deshwal, V.K. and Kumar, P. (2013). Effect of salinity on growth and PGPR activity of Pseudomonads. Journal of Academia and Industrial Research, 2(6), pp.353-356.
19. Egamberdiyeva, D. and Höflich, G. (2002). Root colonization and growth promotion of winter wheat and pea by Cellulomonas spp. at different temperatures. Plant Growth Regulation, 38(3), pp.219-224 .
20. Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., El-Daim, I.A.A., Bejai, S. and Meijer, J. (2013). Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. Journal of Plant Growth Regulation, 32(1): 122-130.
21. Khanna, D.R. and Bhutiani, R., 2008. Laboratory manual of water and wastewater analysis. Delhi: Daya Publishing House.
22. Mishra, B.K. and Barolia, S.K., 2020. Quality Assessment of Microbial Inoculants as Biofertilizer. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 9(10), pp.3715-3729.

23. Naseri, R., Moghadam, A., Darabi, F., Hatami, A. and Tahmasebei, G.R. (2013). The Effect of deficit irrigation and Azotobacter chroococcum and Azospirillum brasilense on grain yield, yield components of maize (SC 704) as a second cropping in western Iran. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences [BEPLS], 2(10): 104-112.
24. Prabhavati, E. and Mallalah, K.V. (2009). Effect of salt concentration on indole acetic acid production by Rhizobium sp. nodulating horse gram. International Journal of Agricultural Sciences, 5(1): 46-49.
25. Sharma, A., Dev, K., Sourirajan, A. and Choudhary, M., 2021. Isolation and characterization of salt-tolerant bacteria with plant growth-promoting activities from saline agricultural fields of Haryana, India. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 19(1), pp.1-10.
26. Shirinbayan, S., Khosravi, H. and Malakouti, M.J., 2019. Alleviation of drought stress in maize (Zea mays) by inoculation with Azotobacter strains isolated from semi-arid regions. Applied soil ecology, 133, pp.138-145.
27. Vessey. J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255: 571–586.
28. Woomer, P.L., 1994. Most probable number counts. Methods of Soil Analysis: Part 2 Microbiological and Biochemical Properties, 5, pp.59-79.

The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Inoculation on Wheat Growth Indices in Saline Irrigation Conditions

H. Khosravi*

Soil Biology Department, Soil and Water Research Institute, P.O.BOX: 31785-11. Karaj, Iran, email: **hkhosravi@areeo.ac.ir**

Received: February, 2023 and Accepted: July, 2023

Abstract

There are many sources of saline water that can be used in agriculture by adopting specific methods. Considering that salinity stress reduces the growth of plants, including wheat, Therefore, any technology that increases wheat's tolerance to salinity stress is very important. The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) is one of the strategies based on sustainable development to reduce the effects of stress in agricultural production. In this research, five strains of selected PGPR were used which were screened based on different plant growth stimulating characteristics. The ability of the strains to salinity tolerance at electrical conductivity (EC) values of 5, 10, 15 and 20 dS.m-1 was evaluated. A factorial greenhouse experiment was conducted based on the completely randomized design in three replicates under salinity stress conditions during a period of 100 days using wheat cultivar Narin in the year 2020 at the central station of the Soil and Water Research Institute. Salinity stress was applied through irrigation with saline water at four levels with electrical conductivity of 0.40 (normal water), 6, 10 and 14 dS.m-1. The inoculation factor included levels without inoculation and inoculation with Pseudomonas putida P186, P. fluorescens P187, P. sp P241, Azotobacter chroococcum Azto478 and A443 and Azospirillum lipoferum strains. Two milliliters of inoculum per seed was inoculated with a population of 1.5 x 108 during cultivation. The laboratory results showed that all strains did not show any growth reduction up to a salinity of 20 dS.m-1. The results of the greenhouse experiment showed that irrigation with saline water had significant reducing effects on all growth indices. Stress at the levels of 6, 10 and 14 14 dS.m-1 caused a decrease of 13.5, 35 and 57% of shoot wet weight, respectively. Also, the mentioned levels caused a decrease of 37.5, 50 and 55% of shoot dry weight, respectively. The root dry weight decreased by 80, 87 and 91%. Plant height decreased by 11, 17, and 18%, head length by 16, 25, and 31%, and head number by 23, 31, and 45%, respectively, at different salinity levels. Inoculation with selected bacteria did not show a significant effect on any of the wheat growth indices under salinity stress conditions. In this research, it was concluded that the reasons for the lack of significant effect of inoculation could be the resistance of the Narin variety to salinity and the inability of the bacteria to make the plant more tolerant to salinity conditions or the growth-promoting properties of the bacteria being unaffected in these conditions.

Keywords: Biofertilizer, Inoculum, Narin variety

*- Corresponding author's email: **hkhosravi@areeo.ac.ir**