مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

تاثیر باکتری اندوفیت باسیلوس سوبتیلیس POE26 بر فاکتورهای رشد و محتوی پرولین و اکسین در دو رقم گندم نان تحت تنش شوری

رامتین پاکزاد[۱]، مریم نصراصفهانی[۱*]، رویا کرمیان[۲] و جلال سلطانی[۳]

[۱] ایران، لرستان، دانشگاه لرستان، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی

[۲] ایران، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی

[۳] ایران، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه حفاظت گیاهی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۶

چکیده

بمنظور بررسی اثرات شوری بر فاکتورهای رشد و محتوای پرولین و اکسین دو رقم تجارتی گندم دیم نان (میهن و حیدری) در مرحله گیاهچه ، صفات درصد جوانه زنی، طول و وزن تر و خشک قسمت هوایی و ریشه، سطح برگ و محتوای اکسین و پرولین در غیاب و حضور باکتری اندوفیت باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis* POE26) اندازه گیری شدند. دانه‌های گندم با باکتری تلقیح شدند، سپس جوانه ها در شرایط آزمایشگاهی کنترل‌شده در گلدان کاشته و با محلول غذایی هوگلند حاوی ۶ سطح مختلف کلرید سدیم (NaCl) آبیاری شدند. اثر رقم بتنهایی و باکتری در غلظتهای پایین نمک، بر روی درصد جوانه زنی معنی دار نبود ولی در غلظتهای بالا وجود باکتری باعث افزایش درصد جوانه زنی گردید. شوری بتنهایی باعث افزایش طول ریشه و شوری و باکتری در کنار هم باعث کاهش طول ریشه گردید. ایفای نقش باکتری در تغییر طول ریشه بدون دخالت پرولین بود. در نهایت مشخص شد که تیمار باکتری، بر مراحل رشدی گیاه تحت تنش شوری تاثیرگذار است و افزایش سطح برگ در هر دو رقم مورد مطالعه می تواند بدلیل تولید اکسین توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس باشد. درنهایت بر مبنای صفات مورد بررسی، رقم حیدری مقاومتر از رقم میهن بود.

واژه های کلیدی: گندم، تنش شوری، باکتری اندوفیت، فاکتور رشد

* نویسنده مسئول، تلفن:۰۹۱۳۱۱۰۳۸۷۰ ، پست الکترونیکی: esfahani.m@lu.ac.ir

مقدمه

در قرن بیست و یکم، سوءتغذیه یکی از نگرانی های عمده جهانی است و بنابراین، برای تغذیه جمعیت دائما در حال رشد، نیاز به کشاورزی پایدار افزایش یافته است. تخمین زده شده است که ۳۶ درصد از جمعیت جهان برای غذا و منبع درآمد به کشاورزی وابسته هستند. بهرحال، کشاورزی عمدتاً تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی است که باعث آسیب‌پذیری امنیت غذایی جهانی می‌شود (۱۳). شوری بالای خاک یک نگرانی جهانی مهمی ایجاد کرده است که تولید پایدار محصولات زراعی از جمله گندم و برنج را در بیشتر مناطق جهان از جمله ایران مختل می‌کند. علاوه بر این، کمبود آب، گرمایش جهانی و بالا آمدن سطح آب دریاها باعث تشدید شوری خاک‌های کشاورزی شده است بطوری‌که سرعت گسترش شوری حدود ۱/۵ میلیون هکتار در هر سال تخمین زده می‌شود(۲۰). بدلیل مقاوم نبودن بسیاری از واریته‌های زراعی موجود در برابر شوری، روش‌های کلاسیک غربال‌گری موفقیت‌های محدودی داشته اند و این ژنوتیپ های شناسایی شده به منطقه جغرافیایی خاص تعلق دارند و نتوانسته‌اند در مکان های

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

مختلف تحت شرایط تنش شوری زنده بمانند(۲۳). شوری خاک باعث ایجاد تنش های اسمزی و یونی در گیاهان می‌شود که رشد گیاه را مهار می‌کند (۱۶). شناسائی روش-هائی که موجب تخفیف اثر تنش شوری شده و تا حد ممکن از افت عملکرد گیاهان جلوگیری نمایند، می‌تواند یکی از روش‌های مقابله با این معضل باشد (۲۱). با توجه به پرهزینه بودن تکنیک‌های مهندسی ژنتیک، استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان، یک رویکرد جایگزین امکان‌پذیر برای بازیابی زمین‌های مستعد شوری است(۱۱). میکروارگانیسم‌های ساکن در خاک بطور قابل توجهی به ارتقای رشد گیاه و تحمل به شوری کمک می‌کنند .این میکروب‌ها روابط خاک-آب-گیاه را تقویت می‌کنند، سیگنال‌های هورمونی گیاهی را دستکاری می‌کنند و چندین مکانیسم دیگر را فعال می‌کنند که بصورت یکپارچه برای افزایش تحمل به نمک و تنش خشکی در گیاهان کار می‌کنند(۱۴و ۱۵). اندوفیت‌های باکتریایی در بافت‌های زنده گیاهی ساکنند، بدون آن‌که به گیاه صدمه ای بزنند. آنها قادرند همزیستی داخلی با گیاه برقرار نموده و برای گیاه یک محیط سودمند اکولوژیکی را ایجاد کنند که بواسطه آن نسبت به تنش‌های محیطی متحمل شده و یا سبب بهبود و افزایش رشد گیاه شوند(۱۹ و ۲۹) . یکی از راسته‌های باکتری‌های اندوفیت، راسته Bacillals است که وجود سویه‌های دیگری از جنس *Bacillus* از این راسته، بعنوان باکتری اندوفیت در گیاهان دیگری بجز گندم نیز گزارش شده است(۱۷). Robinson و همکاران (۲۰۱۶) باکتریهای اندوفیت گیاه گندم را مطالعه و وجود جنس *Bacillus* را در بین باکتریهای همزیست با گندم گزارش کردند (۲۸). Lastochkina و همکاران(۲۰۱۷) خصوصیات مربوط به برخی اثرات سویه دیگری از *Bacillus subtilis* از این راسته از جمله تاثیر مثبتی که بر روی تنش خشکی طی همزیستی با ریشه‌های ارقام دیگری گندم دارند را گزارش کرده‌اند (۱۸). بهر حال، سوالات بزرگی در درک مکانیسم‌های میکروبی برای ارتقای رشد گیاه وجود دارد مانند این که چگونه اندوفیت ها تنش شوری را در گیاهان بهبود می بخشند؟ و یا چه نوع تغییرات فیزیولوژیکی در گیاهان در شرایط شوری رخ می دهد؟

در ایران وسعت خاک‌های شور قابل‌توجه و از معضلات جدی کشاورزی است. در سال زراعی ۹۸ -۱۳۹۷ سطح محصولات زراعی حدود ۱۲ میلیون هکتار بوده که از این مقدار حدود ۵۱/۸ اراضی با کشت آبی و ۴۸/۲ درصد اراضی با کشت دیم بوده است(۱). نزدیک به ۵۰ ٪ این سطح زیرکشت به درجات مختلف با شوری، قلیایی بودن و غرقابی بودن روبرو هستند. گندم (*Triticum aestivum* L.) اساسی‌ترین محصول در الگوی غذایی ایرانیان است و جایگاه ویژه‌ای دارد، بگونه‌ای که همواره در سیاستگذاری‌های کشاورزی محور اصلی بوده است. سطح زیرکشت گندم در کشور حدود ۶ میلیون هکتار است که حدود ۲ میلیون هکتار کشت گندم آبی و ۴ میلیون هکتار گندم دیم می‌باشد. گندم دیم با تولید حدود ۵/۵ میلیون تن و سهم ۷۱/۵ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی دیم و گندم آبی که میزان تولید آن حدود ۸/۲ میلیون تن و سهم ۱۰/۹ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی است، سهم قابل توجهی از تولیدات کشاورزی کشور را بخود اختصاص داده‌اند(۱). با توجه به اهمیت بارز گندم در تغذیه انسان ، لزوم شناسایی راهکارهایی موثر در بهبود تحمل شرایط تنش شوری ضروری است زیرا ارزش غذایی گیاه علاوه بر کنترل ژنتیکی، تحت تأثیر شرایط محیطی است. در این پژوهش، تاثیر همزیستی یک سویه باکتری باسیلوس سوبتیلیس (*Bacillus subtilis* POE26) با دو لاین تجارتی گندم نان به نام‌های میهن و حیدری در مرحله گیاهچه ای در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت و با بررسی فاکتورهای رشد، محتوی پرولین و اکسین، میزان تحمل و یا حساسیت این ارقام درمرحله گیاهچه‌ای مطالعه شد.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

مواد و روشها

ایـن آزمـایش بـمنظـور بررسـی اثـرات تـنش شوری در حضور و عدم حضور باکتری اندوفیت *B. subtilis* POE26 (۳۰) بر درصد جوانه‌زنی، وزن تر ریشه، وزن تر قسمت هوایی، وزن خشک ریشه، وزن خشک قسمت هوایی، سطح برگ و میزان اکسین و پرولین در مرحلـه گیاهچـه‌ای گنـدم در پـاییز ۱۳۹۷ در دانشـکده علوم دانشـگاه بوعلی سینا انجام گردید. ۲رقم تجـارتی گنـدم دیم نـان بنام‌های میهن و حیدری از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی همدان تهیه شده و در ۶ سـطح شـوری شـامل صفر(محلول هوگلند پایه بعنوان شاهد)، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار سدیم بصورت آزمـایش فاکتوریـل در قالـب طـرح بلـوک هـای کامـل تصادفی با ۳ تکـرار مـورد مطالعـه قـرار گرفتنـد. هـر گلـدان با قطر ۱۱ سانتی‌متر و حاوی ماسه شسته شده و استریل بـود. شـرایط دمـایی اتاق رشد بصورت ۲± ۲۰ درجه سانتی‌گـراد و شدت نور ۶۰۰۰ لوکس و بـمدت ۱۶ سـاعت روشـنایی و ۸ سـاعت تـاریکی تنظیم شد. گلدان‌ها با غلظت هـای شوری مربوطه آبیاری شدند و هدایت الکتریکی(EC) آب زهکش آنهـا بوسیله ECمتـر دیجیتالی کنترل گردید. آبیـاری گلدان‌ها تا مرحله ۴ برگـی ادامه پیدا کرد. تمامی بوتـه‌هـا هـر گلـدان برداشـت شـده و ریشه و برگ هـر یـک از آنهـا جـدا شدند. باکتری اندوفیت باسیلوس سوبتیلیس *Bacillus subtilis* POE26 در مطالعات پیشین از بافت‌های شاخه گیاه *Thuja orientalis* (Cupressaceae) جداسازی شده بود(۳۰).

باکتری‌ها در محیط کشت نوترینت براث (NB) کشت داده شدند تا به غلظت حدود $CFU10^8$ برسند. جذب محیط کشت مایع تلقیح شده در طول موج ۶۵۰ nm در برابر محیط کشت تلقیح نشده، خوانده شد. چگالی نوری مورد قبول بین ۰/۱ تا ۰/۱۲ می‌باشد. سپس بذرهای جوانه‌زده در محیط استریل به محیط کشت مایع تلقیح شده منتقل و بمدت یک ساعت در شیکر با دور ۴۰-۵۰rpm مخلوط شدند (۳۱).

سطح برگ چند گیاه از هرگلدان با خطکش و کاغذ میلیمتری اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها، بعنوان اندازه سطح برگ هرگیاه در نظر گرفته شد. طول ریشه چند گیاه از هرگلدان با خطکش و کاغذ میلیمتری اندازه گیری و میانگین آن‌ها اندازه طول ریشه هرگیاه در نظر گرفته شد. وزن تر برگ و ریشه چند گیاه از هرگلدان با ترازوی دیجیتال با دقـت یک ده هزارم گرم اندازه‌گیری شد. سپس گیاه قطعه قطعه شده و بمدت یک شب در آب مقطر دیونیزه در یخچال ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. دوباره وزن آنها اندازه گیری و میانگین آن‌ها بعنوان وزن هیدراته Hydrated Weight(HW) ثبت گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، بـرگ و ریشه هـر تک بوته جداگانه بـمـدت ۷۲ سـاعت در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس وزن خشـک بـرگ و وزن خشک ریشه بوسـیله تـرازوی دیجیتـالی بـادقـت یک ده هزارم گرم تعیـین شـد.

سنجش پرولین گیاه بروش Bates و همکاران انجام گرفت(۱۰). ۰/۵ گرم ماده تر گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳٪ اسید سولفوسالیسیلیک سائیده شد. از مخلوط همگن حاصل پس از سانتریفوژ در۳۰۰۰ دور در دقیقه، ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و پس از افزودن ۲ میلی‌لیتر معرف اسیدی نین-هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک خالص در بن‌ماری در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بمدت یک ساعت قرار داده شد. سپس آن‌ها را در حمام آب یخ گذاشته و پس از اضافه نمودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شدند، سپس مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر Photonix مدل Ar2017 خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن بدست آمد.

ارزیابی این سویه باکتری از نظر توان تولید هورمون اکسین ایندول استیک اسید (IAA) با روش پیشنهاد ی Bric و

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

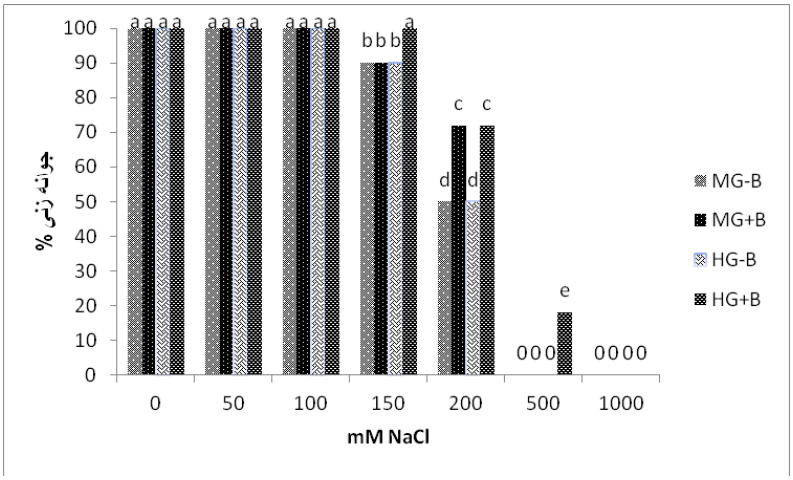
همکاران انجام شد(۱۲). ابتدا باکتری ها بمدت ۴۸ ساعت در محیط کشت مولرهینتون کشت داده شدند. مقدار ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری به ۲۵ میلی لیتر محیط کشت حاوی مقادیر صفر، ۵۰ ، ۱۰۰ ، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکروگرم در میلی لیتر تریپتوفان اضافه و پس از ۲۴ ساعت، سوسپانسیون خالص باکتری بمدت ۱۰ دقیقه در g ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد. محلول رویی بنسبت ۱ به ۲ با معرف سالکوفسکی(۱۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۵/۷ میلی‌لیتر $FeCl_3.6H_2O$ نیم مولار)مخلوط گردید. پس از ۲۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق با استفاده از اسپکتروفتومتر Photonix مدل Ar2017 ، مقدار جذب نور در طول موج ۵۳۵ نانومتر قرائت گردید(۲۵). مقدار تولید هورمون IAA با مقایسه جذب آن با جذب نمودار استاندارد تهیه شده از ایندول استیک اسید محاسبه شد.

آنالیز آماری

آنالیز آماری توسط نرم افزار SPSS ver.18 انجام گردید. مقادیر، میانگین سه تکرار می‌باشند. مقایسه میانگین‌ها بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح $P<0.05$ و $P<0.01$ می باشند.

نتایج

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های مربوط به ارزیابی درصد و سرعت جوانه‌زنی (شکل ۱) نشان داد که تاثیر غلظت شوری بر جوانه زنی در هر دو رقم معنادار بود و از غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار به بالا جوانه‌زنی کاهش یافت و در غلظت ۱ مولار به صفر رسید. در غلظت های پایین شوری، تیمار با باکتری تاثیر معناداری بر جوانه زنی نداشت اما در غلظت‌های ۲۰۰ میلی مولار به بالا تیمار با باکتری باعث افزایش جوانه زنی شد.



شکل ۱ – تاثیر تیمارهای شوری و باکتری *Bacillus subtilis* POE26 بر درصد جوانه‌زنی گیاهچه گندم رقم‌های میهن و حیدری تحت تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰میلی‌مولار). مقادیر، میانگین ۱۰ تکرار می‌باشند. غلظت ۰ بعنوان شاهد در نظر گرفته شده است. برای هر رقم جداگانه، اختلاف درصدها با حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنادار آماری ($P<0.05$) بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن می باشد. (رقم میهن بدون باکتری:MG-B، رقم میهن با باکتری:MG+B، رقم حیدری بدون باکتری: HG-B، رقم حیدری با باکتری: HG+B)

در رقم میهن تاثیر غلظت بر همه فاکتورهای رشد بتنهایی معنی دار می باشد. در این رقم و در غیاب باکتری با افزایش غلظت نمک، طول بخش هوایی و سطح برگ کاهش یافت و این کاهش در حضور باکتری شدیدتر بود.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

در این رقم و در غیاب و حضور باکتری با افزایش غلظت نمک، طول ریشه افزایش یافت. وزن تر و خشک گیاهچه ها نیز تا غلظت ۳۰ میلی‌مولار افزایش و سپس کاهش یافت که این کاهش در حضور باکتری خفیف‌تر بود. مقدار پرولین در حضور و عدم حضور باکتری افزایش یافت که این افزایش در حضور باکتری کمتر بود. مقدار اکسین در این رقم تحت اثر شوری تا غلظت ۳۰ میلی‌مولار افزایش و پس از آن کاهش یافت(جدول ۱).

جدول ۱- تاثیر تیمارهای شوری و باکتری *Bacillus subtilis* POE26 بر فاکتورهای رشد و محتوای پرولین و اکسین گیاهچه گندم رقم میهن تحت تنش شوری (۰، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار). مقادیر میانگین سه تکرار ± SE می‌باشند. درصد تغییرات نسبت به غلظت ۰ (بعنوان شاهد) در پرانتز درج شده است. برای هر صفت جداگانه، اختلاف میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنادار آماری ($P<0.05$) بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن می باشد.

		میهن						
	سطوح شوری (mmol)	طول بخش هوایی (mm)	طول ریشه (mm)	سطح برگ (mm^2)	وزن تر (g)	وزن خشک (g)	پرولین (mg/g FW)	اکسین (ng/g FW)
بدون باکتری	۰(شاهد)	۳۷۲±۲/۵^{e}	۶۴±۳/۲^{a}	۱۱۲±۱/۲^{e}	۰/۹۴±۰/۰۴^{d}	۰/۲۱±۰/۰۳^{cd}	۱/۱۲±۰/۰۶^{a}	۲۶۵±۹^{cd}
	۱۵	۳۲۳±۳^{d} (-٪۱۳)	۱۰۵±۵^{e} (+٪۶۴)	۱۲۵±۲/۵^{f} (٪۱۱)	۱/۵۴±۰/۰۴^{e} (+٪۱۵)	۰/۲۵±۰/۰۳^{e} (+٪۱۴)	۱/۳±۰/۰۳^{ab} (+٪۱۶)	۲۷۴±۹^{d} (+٪۳)
	۳۰	۲۹۸±۲۰^{c} (-٪۲۰)	۱۱۳±۳/۶^{f} (+٪۷۶)	۱۴۰±۱/۵^{g} (-٪۲۵)	۱/۲۱±۰/۰۴^{f} (+٪۲۹)	۰/۳±۰/۰۲^{f} (+٪۳۶)	۱/۴±۰/۰۵^{bcd} (+٪۲۵)	۲۸۱±۱۱^{d} (+٪۶)
	۵۰	۳۱۹±۱/۵^{d} (-٪۱۴)	۱۲۳±۲/۶^{g} (+٪۹۲)	۱۵۲±۱/۵^{h} (-٪۳۵)	۰/۵۹±۰/۰۷^{b} (-٪۳۶)	۰/۱۱±۰/۰۲^{a} (-٪۵۰)	۱/۵±۰/۰۸^{de} (+٪۳۴)	۲۴۹±۱۴^{c} (-٪۶)
	۱۰۰	۳۸۰±۱/۵^{e} (+٪۲)	۱۳۸±۱/۵^{h} (+٪۱۱۶)	۱۱۵±۲^{e} (-٪۳)	۰/۷۵±۰/۰۴^{c} (-٪۲۰)	۰/۱۶±۰/۰۲^{b} (-٪۲۷)	۱/۷±۰/۰۷^{fg} (+٪۵۲)	۱۸۵±۱۱^{a} (-٪۳۰)
	۱۵۰	۳۰۱±۱/۵^{c} (-٪۱۹)	۱۲۴±۳/۲^{g} (+٪۹۴)	۹۹±۱/۷^{d} (-٪۱۱)	۰/۵۲±۰/۰۳^{a} (-٪۴۴)	۰/۱±۰/۰۲^{a} (-٪۵۵)	۱/۹±۰/۱۱^{g} (+٪۷۰)	۱۸۵±۱۵^{a} (-٪۳۰)
با باکتری	۰	۲۴۱±۱/۵^{a} (-٪۳۵)	۹۱±۲^{c} (+٪۴۲)	۱۱۴±۰/۶^{e} (٪۲)	۰/۵±۰/۰۳^{f} (-٪۶۴)	۰/۲۴±۰/۰۱^{de} (+٪۹)	۱/۳±۰/۰۹^{ab} (+٪۱۶)	۳۰۶±۱۱^{e} (+٪۱۵)
	۱۵	۲۳۰±۱/۵^{a} (-٪۳۸)	۱۶۲±۲/۵^{i} (+٪۱۵۳)	۱۱۴±۱/۷^{e} (+٪۲)	۱/۵±۰/۰۴^{g} (+٪۶۴)	۰/۳±۰/۰۲^{f} (+٪۳۶)	۱/۳±۰/۰۸^{abc} (+٪۱۶)	۳۰۹±۱۱^{e} (+٪۱۷)
	۳۰	۲۳۱±۲/۵^{a} (-٪۳۸)	۹۸±۲/۵^{d} (+٪۵۳)	۹۳±۴^{c} (-٪۱۷)	۰/۹۳±۰/۰۲^{d} (-٪۱)	۰/۱۸±۰/۰۲^{b} (-٪۱۸)	۱/۳±۰/۰۷^{abc} (+٪۱۶)	۳۲۱±۱۲^{e} (+٪۲۱)
	۵۰	۲۶۲±۴/۹^{b} (-٪۳۰)	۱۱۵±۲^{f} (+٪۸۱)	۷۷±۲/۶^{b} (-٪۳۱)	۰/۸۷±۰/۰۶^{d} (-٪۷)	۰/۱۹±۰/۰۲^{bc} (-٪۵)	۱/۳±۰/۱^{abc} (+٪۱۶)	۲۸۳±۶^{d} (+٪۷)
	۱۰۰	۳۲۱±۳^{d} (-٪۱۴)	۱۸۴±۵/۳^{j} (+٪۱۸۷)	۷۱±۲/۶^{a} (-٪۳۶)	۱/۰۲±۰/۰۵^{e} (-٪۹)	۰/۲۲±۰/۰۳^{de} (-٪۱۴)	۱/۵±۰/۰۹^{cd} (+٪۳۴)	۲۱۹±۱۰^{b} (-٪۱۷)
	۱۵۰	۳۳۰±۳/۵^{d} (-٪۱۱)	۸۱±۱/۵^{b} (+٪۲۷)	۶۹±۱^{a} (-٪۳۸)	۰/۵۱±۰/۰۳^{a} (-٪۴۵)	۰/۱±۰/۰۲^{a} (-٪۵۵)	۱/۶±۰/۱۱^{ef} (+٪۴۳)	۲۰۷±۱۳^{b} (-٪۲۲)

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

جدول ۲- همبستگی پیرسون میان صفات مورد بررسی درگیاهچه گندم رقم میهن تحت تنش شوری و باکتری *Bacillus subtilis* POE26. ns، *و **: برترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند .

صفات مورد بررسی	طول هوایی	طول ریشه	سطح برگ	وزن تر	وزن خشک	پرولین
طول هوایی						
طول ریشه	-۰/۱ ns					
سطح برگ	۰/۱۱ ns	-۰/۰۹ ns				
وزن تر	-۰/۲۴ ns	۰/۴۰ *	۰/۱۶ ns			
وزن خشک	-۰/۳۲ ns	۰/۱۹ ns	۰/۲۷ ns	۰/۷۸ **		
پرولین	۰/۳۲ ns	۰/۲۶ ns	-۰/۱۲ ns	-۰/۴۴ **	-۰/۶۳ **	
اکسین	-۰/۷۱ **	-۰/۲۱ ns	۰/۲۲ ns	۰/۴۷ **	۰/۶۱ **	-۰/۷۵ **

در رقم حیدری نیز تاثیر غلظت بر همه فاکتورهای رشد بتنهایی معنی‌دار می باشد. در این رقم بر خلاف رقم میهن و در غیاب باکتری با افزایش غلظت نمک، طول بخش هوایی افزایش یافت و حضور باکتری از شدت این افزایش کاست. در این رقم همانند رقم میهن و در غیاب و حضور باکتری با افزایش غلظت نمک، طول ریشه افزایش یافت و این افزایش در غیاب باکتری شدیدتر بود. با افزایش شوری تا سقف ۳۰ میلی‌مولار سطح برگ افزایش داشت و پس از آن متحمل کاهش شد. وزن تر و خشک گیاهچه‌ها نیز تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش و سپس کاهش یافت که این کاهش در حضور باکتری خفیف‌تر بود. همانند رقم میهن مقدار پرولین در حضور و عدم حضور باکتری افزایش یافت که این افزایش در حضور باکتری کمتر بود. مقدار اکسین در این رقم تحت اثر شوری تا غلظت ۳۰ میلی‌مولار افزایش و پس از آن کاهش یافت(جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر تیمارهای شوری و باکتری *Bacillus subtilis* POE26 بر فاکتورهای رشد و محتوای پرولین و اکسین گیاهچه گندم رقم حیدری تحت تنش شوری (۰، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار). مقادیر میانگین سه تکرار ± SE می‌باشند. درصد تغییرات نسبت به غلظت ۰ (بعنوان شاهد) در پرانتز درج شده است. برای هر صفت جداگانه، اختلاف میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنادار آماری ($P<0.05$) بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن می باشد.

		حیدری						
	سطوح شوری (mmol)	طول بخش هوایی (mm)	طول ریشه (mm)	سطح برگ (mm^2)	وزن تر (g)	وزن خشک (g)	پرولین (mg/g FW)	اکسین (ng/g FW)
بدون باکتری	۰(شاهد)	۳۵۳±۳^{b}	۶۲±۳^{a}	۱۳۱±۲۰^{fg}	۰/۷۳±۰/۰۳^{d}	۰/۱۴±۰/۰۱^{ab}	۱/۲۱±۰/۰۳^{a}	۲۹۲±۸^{ab}
	۱۵	۴۴۰±۱/۵^{i} (٪۲۴)	۱۰۳±۶^{d} (+٪۶۶)	۱۴۱±۲^{g} (٪۸)	۱/۲۱±۰/۰۴^{f} (+٪۶۶)	۰/۲۵±۰/۰۱^{cd} (+٪۷۸)	۱/۲۶±۰/۰۳^{ab} (+٪۴)	۳۱۴±۵^{bc} (+٪۷)
	۳۰	۴۳۱±۲/۶^{h} (٪۲۲)	۱۱۴±۴^{f} (+٪۸۴)	۱۲۰±۲^{def} (-٪۸)	۱/۵۱±۰/۰۳^{g} (+٪۱۰۷)	۰/۳۱±۰/۰۱^{d} (+٪۱۲۱)	۱/۳۹±۰/۰۴^{bc} (+٪۱۵)	۳۱۴±۹^{bc} (+٪۸)
	۵۰	۴۳۱±۱/۵^{h} (٪۲۲)	۱۳۲±۳^{h} (+٪۱۱۳)	۱۶۶±۲^{h} (٪۲۷)	۱/۲۰±۰/۰۴^{f} (٪۶۴)	۰/۲۵±۰/۰۱^{acd} (٪۷۹)	۱/۴۴±۰/۱۰^{c} (+٪۱۹)	۲۸۲±۱۱^{ab} (-٪۴)
	۱۰۰	۴۰۵±۱۳^{f}	۱۴۴±۴^{i}	۱۲۳±۳^{ef}	۰/۶۹±۰/۰۶^{cd}	۰/۱۴±۰/۰۲^{ab}	۱/۷±۰/۰۷^{d}	۲۷۰±۱۰^{a}

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

		(+٪۱۴)	(-٪۶)	(-٪۴)	(٪۰)	(+٪۴۰)	(-٪۸)-
	۱۵۰	۳۷۱±۱/۵^{d}	۱۳۲±۳^{h}	۰/۵۳±۰/۰۳^{b}	۰/۱۱±۰/۰۱^{ab}	۱/۸۳±۰/۰۸^{e}	۲۷۰±۱۴^{a}
		(٪۵)	(+٪۱۱۳)	(-٪۲۹)	(-٪۲۱)	(+٪۵۱)	(-٪۹)
	۰	۳۱۱±۳/۲^{a}	۷۳±۲^{b}	۰/۵±۰/۰۳^{b}	۰/۰۹±۰/۰۱^{ab}	۱/۲۴±۰/۰۶^{a}	۳۲۲±۱۱^{bc}
		(-٪۱۲)	(+٪۱۸)	(-٪۳۲)	(-٪۳۶)	(+٪۵)	(+٪۱۱)
	۱۵	۳۵۲±۳/۲^{b}	۱۲۴±۵^{g}	۱/۶۱±۰/۰۴^{h}	۰/۲۴±۰/۱۶^{cd}	۱/۳±۰/۰۹^{abc}	۳۳۶±۹^{c}
		(-٪۰/۲)	(+٪۱۰۰)	(+٪۱۲۱)	(+٪۷۱)	(+٪۷)	(+٪۱۵)
	۳۰	۳۶۹±۴^{d}	۱۰۷±۳^{de}	۰/۶۶±۰/۰۲^{c}	۰/۱۴±۰/۰۱^{ab}	۱/۳۲±۰/۰۸^{abc}	۳۱۸±۶۴^{bc}
		(٪۴/۵)	(+٪۷۳)	(-٪۱۰)	(٪۰)	(+٪۹)	(+٪۲۱)
با باکتری	۵۰	۴۲۳±۳/۱^{g}	۱۰۶±۲^{de}	۰/۸۲±۰/۰۲^{e}	۰/۱۶±۰/۰۲^{bc}	۱/۲۸±۰/۰۷^{ab}	۳۰۱±۴^{abc}
		(٪۲۰)	(+٪۷۱)	(-٪۱۲)	(٪۱۴)	(+٪۶)	(+٪۲)
	۱۰۰	۳۶۱±۱/۵^{c}	۱۱۱±۲^{ef}	۰/۳۲±۰/۰۲^{a}	۰/۰۷±۰/۰۱^{a}	۱/۴۴±۰/۱۰^{c}	۲۸۷±۱۰^{ab}
		(٪۲/۳)	(+٪۷۹)	(-٪۵۶)	(+٪۳۶)	(+٪۱۹)	(-٪۲)
	۱۵۰	۳۸۳±۳/۶^{e}	۸۳±۳^{c}	۰/۲۸±۰/۰۱^{a}	۰/۵۰±۰/۰۱^{a}	۱/۶۳±۰/۱۱^{d}	۲۸۶±۱۵^{ab}
		(٪۸/۵)	(+٪۳۴)	(-٪۶۲)	(-٪۲۹)	(+٪۳۴)	(-٪۳)

جدول۴- همبستگی پیرسون میان صفات مورد بررسی درگیاهچه گندم رقم حیدری تحت تنش شوری و باکتری *Bacillus subtilis* POE26. ns، *و **: بترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

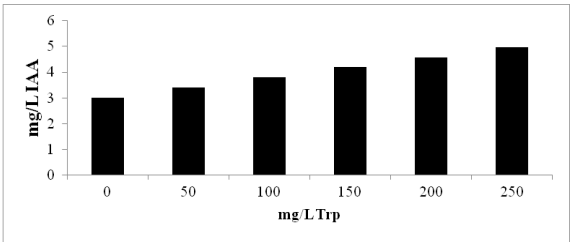
صفات مورد بررسی	طول هوایی	طول ریشه	سطح برگ	وزن تر	وزن خشک	پرولین
طول هوایی						
طول ریشه	۰/۴۵**					
سطح برگ	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}				
وزن تر	۰/۴۵**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۶۷**			
وزن خشک	۰/۵۴**	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۵۲**	۰/۸۶**		
پرولین	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۵۱**	-۰/۵۳**	-۰/۳۴*	-۰/۲۳ ^{ns}	
اکسین	-۰/۱۵ ^{ns}	-۰/۲۵ ^{ns}	۰/۳۷*	۰/۴۱*	۰/۳۰ ^{ns}	-۰/۴۷**

جدول ۵- نسبت ریشه به بخش هوایی تحت تاثیر تیمارهای شوری (۰، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و باکتری *Bacillus subtilis* POE26 درگیاهچه گندم رقم‌های میهن و حیدری. برای هر رقم جداگانه، اختلاف میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در هر دو ستون، بیانگر تفاوت معنادار آماری ($P<0.05$) بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن می باشد.

	رقم میهن		رقم حیدری	
سطوح شوری(mmol)	بدون باکتری	با باکتری	بدون باکتری	با باکتری
۰	۰/۱۷^{a}	۰/۳۸^{e}	۰/۲۰^{a}	۰/۲۳^{c}
۱۵	۰/۳۳^{c}	۰/۷۰^{i}	۰/۲۹^{e}	۰/۳۵^{g}
۳۰	۰/۳۸^{e}	۰/۴۲^{f}	۰/۳۱^{f}	۰/۲۹^{e}
۵۰	۰/۳۹^{e}	۰/۴۴^{g}	۰/۳۱^{f}	۰/۲۵^{d}
۱۰۰	۰/۳۶^{d}	۰/۵۷^{h}	۰/۴۰^{h}	۰/۳۱^{f}
۱۵۰	۰/۴۱^{f}	۰/۲۵^{b}	۰/۳۴^{g}	۰/۲۱^{b}

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

نتایج مشخص کرد که در گیاهچه‌های گندم تحت تنش شوری با افزایش سطح شوری (در نبود باکتری) محتوای اکسین تا غلظت ۵۰ میلی مولار نسبتا ثابت بوده و پس از آن بشکل معنی‌داری کاهش می یابد. محتوی اکسین در رقم حیدری نسبت به میهن به طرز معنی داری بیشتر بود. تیمار با باکتری بطرز معنی داری محتوی اکسین را بالا برد. نتایج نشان حاصل از سنجش تولید هورمون اکسین توسط باکتری در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج مشخص کرد که در باکتری با افزایش سطح تریپتوفان، محتوای اکسین بشکل معنی‌داری افزایش می یابد.



شکل ۲- تاثیر غلظت‌های تریپتوفان بر محتوای اکسین محیط کشت باکتری *Bacillus subtilis* POE26 مقادیر میانگین سه تکرا ر می-باشند. اختلاف میانگین‌ها با حروف غیرمشترک در هر ستون، بیانگر تفاوت معنادار آماری($P< 0.05$) بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن می باشد.

بحث و نتیجه گیری

شوری یکی از استرس های شدید است که از دو جنبه بر گیاه تاثیر منفی می گذارد: درگام نخست ریشه با آن مواجه شده و در کوتاه مدت باعث استرس اسمتیک و کاهش دسترسی به آب می گردد. در گام بعدی و در درازمدت باعث سمیت یونی و برهم خوردن توازن ریزمغزی‌ها در سیتوسول می شود(۹). شوری مانع اصلی برای تولید مثل گیاهان در مرحله‌ی جوانه‌زنی محسوب می‌شود(۴) در شوری‌های پایین عامل محدودکننده رشد، کمبود عناصر ضروری لازم برای رشد دانه‌رست می‌باشد، در حالی که در شوری‌های بالا عامل محدودکننده، تنش شوری بوده که با ایجات اثرات اسمزی و سمیت یونی رشد دانه‌رست را مختل می‌سازد(۲). در هر دو رقم در غلظت ۲۰۰ میلی-مولار، تیمار با باکتری باعث افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی بذرها شد. تاثیر مثبت باکتری‌های تولیدکننده فیتوهورمون-هایی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها بر جوانه‌زنی، در مطالعات پیشین مورد تایید قرار گرفته بودند(۱۷). جوانه‌زنی در غلظت بالاتر متوقف شده بود که نشان داد این دو رقم گندم در خاکهای شور با غلظت بیش از ۲۰۰ میلی‌مولار قادر به جوانه زنی نیستند.

تغییر طول بخش هوایی با تغییر سطح شوری در هر دو رقم گندم با یکدیگر اختلاف معنی دار دارد. عموما تیمار شوری باعث کاهش بخش هوایی در گیاه می شود که می تواند بشکل کاهش رشد و ریزش برگ‌ها بواسطه افزایش تولید اتیلن باشد. این یک مکانیسم دفاعی با هدف جلوگیری از تعرق و از دست دادن آب می باشد(۹). شوری در رقم میهن بر روی طول بخش هوایی تاثیر منفی دارد اما در رقم حیدری با افزایش غلظت نمک، رشد بخش هوایی افزایش یافته است. در تیمار باکتری با افزایش غلظت نمک، رشد بخش هوایی کاهش یافته است.

ریشه اندامی است که وظیفه جذب آب و املاح معدنی را بعهده دارد و تنش شوری بیشتر از ناحیه ریشه به گیاه وارد می شود زیرا که نخستین بخشی از گیاه که با شوری مواجه می گردد، ریشه ها هستند(۳). اثر غلظت بتنهایی بر طول ریشه در هر دو رقم معنی دار بود یعنی طول ریشه با افزایش سطح شوری در هر دو رقم گندم نسبت به شاهد افزایش یافت ولی از این لحاظ بین دو رقم تفاوتی وجود ندارد. این امر می تواند بدلیل تمایل ریشه گیاه به فرار از ناحیه شور در بستر و ورود به نواحی با شوری کمتر باشد. در رقم میهن تیمار با باکتری باعث افزایش طول ریشه شده است. در رقم حیدری نیز تیمار با باکتری باعث افزایش طول ریشه نسبت به شاهد شد اما

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

این افزایش نسبت به عدم حضور باکتری، کمتر بود. آنالیز ضریب همبستگی بین طول ریشه و محتوای اکسین نشان داد که در یک همبستگی ضعیف معکوس بین این دو عامل وجود دارد یعنی با افزایش غلظت اکسین، طول ریشه کاهش می‌یابد. در هر دو رقم حضور باکتری باعث کاهش شدیدتر طول ریشه نسبت به شاهد و حالت عدم حضور باکتری می‌گردد که با توجه به این که باکتری مورد بررسی، تولیدکننده اکسین است، این کاهش را می توان به افزایش سطح اکسین باکتریایی در ریشه نسبت داد.

یک شاخص مهم برای ارزیابی تاثیر تنش بر گیاه، تغییر نسبت ریشه به بخش هوایی می‌باشد. با افزایش شوری در هر دو رقم و در غیاب باکتری، نسبت ریشه به بخش هوایی افزایش یافت(جدول ۵) که با مطالعات Acosta-Motos و همکاران(۲۰۱۷) مطابقت داشت که این کاهش را هم در گیاهان حساس و هم مقاوم گزارش کرده بودند(۹). این افزایش نسبت ریشه به بخش هوایی یک مکانیسم مقاومت و بقاء است و گیاه با افزایش این نسبت، یون‌های سمی را در ناحیه ریشه مهار می‌کند تا از انتقال آنها به بخش هوایی جلوگیری کند(۹).

با افزایش سطح تنش شوری، محتوای پرولین آزاد نمونه‌ها افزایش معنی‌دار یافت. کاربرد باکتری، بتنهایی موجب افزایش معنی‌دار پرولین در تیمار باکتری در هر دو رقم گیاهچه‌های گندم نسبت به گروه شاهد شد. بین دو رقم اختلاف معناداری از نظر مقدار پرولین دیده نشد. در حضور هر دو عامل شوری و باکتری و در هردو رقم، تیمار با باکتری باعث کاهش محتوای پرولین نسبت به غلظت-های مشابه در غیاب باکتری گردید. آنالیز ضریب همبستگی بین محتوای پرولین آزاد و فاکتورهای رشد دیگر نشان داد که در رقم میهن بین طول ریشه و بخش هوایی با محتوای پرولین همبستگی قوی (<۰/۷) وجود ندارد اما در رقم حیدری بین پرولین و طول ریشه همبستگی وجود دارد. با توجه به تاثیر مثبت تیمار باکتری درافزایش طول ریشه و همبستگی بین مقدار پرولین و طول ریشه در رقم حیدری و عدم وجود همبستگی در رقم میهن برغم افزایش طول ریشه، می توان نتیجه گرفت که ایفای نقش باکتری در تغییر طول ریشه بدون دخالت پرولین باشد. البته Poustini و همکاران (۲۰۰۷)نیز با مطالعه گندم گزارش نمودند که همبستگی معنی‌داری میان تجمع پرولین برگ و تحمل به تنش شوری در ارقام گندم دیده نشد(۲۶). در هر دو رقم بین محتوای پرولین و وزن تر و خشک گیاه یک همبستگی معکوس وجود دارد. گیاهان برای ساختن مواد آلی (مانند پرولین) انرژی زیادی صرف می‌کنند که با صرف انرژی زیاد جهت تنظیم اسمزی برای مقابله با شوری باعث کاهش کارائی ریشه در تامین عناصر غذایی و آب برای سایر اندام ها می‌شود و رشد اندام‌های هوایی کاهش یافته و در نتیجه تنش شوری باعث کاهش اندام‌زائی و تولید ماده خشک شده و در نهایت کاهش انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به محور جنینی را بدنبال داشته و در نتیجه کاهش وزن ریشه و وزن ساقه را منجر شود(۶).

در هر دو رقم میهن و حیدری با افزایش شوری بترتیب تا ۳۰ و ۵۰ میلی مولار وزن تر افزایش می‌یابد که این افزایش در حیدری بیشتر از میهن است. در غلظت های بالاتر کاهش وزن تر را می‌بینیم. تفاوت بین نمونه های تیمار دیده با باکتری و تیمار ندیده معنی‌دار است و تاثیر تیمار با باکتری بر روی وزن تر در هر دو رقم معنی‌دار است و رقم میهن نسبت به حیدری حساس‌تر است. در مجموع تیمار با باکتری در هر سطح از تنش شوری باعث حفظ وزن تر گیاهچه‌ها نسبت به گروه کنترل شدند.

Munus و James (۲۰۰۳) با مطالعه واکنش ارقام گندم دوروم به تنش شوری، بررسی وزن خشک بوته را یکی از صفات اصلی قابل بررسی و قابل اطمینان جهت بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری بیان نمودند (۲۲). Zhao و همکاران (۲۰۰۷) نیز با بررسی ارقام یولاف گزارش دادند

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

که تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن بوته در گیاهچه یولاف گردید (۳۲). در هر دو رقم با افزایش شوری تا ۳۰ میلی مولار وزن خشک افزایش می‌یابد که این افزایش در حیدری بیشتر از میهن است. در غلظت‌های بالاتر کاهش وزن خشک را می‌بینیم. این کاهش وزن خشک با نتایج فرهودی (۱۳۹۲) نیز مطابقت داشت(۴). تفاوت بین نمونه-های تیمار دیده با باکتری و تیمار ندیده معنی‌دار است. در هر دو رقم تیمار باکتری باعث افزایش وزن خشک شد. مستاجران و قاسمی(۱۳۹۷) نیز با تلقیح گیاه گندم نشان دادند که وزن خشک ریشه و بخش هوایی در اثر تلقیح با برخی سویه‌های آزوسپیریلوم افزایش معنی‌داری نشان داد(۷). همانند وزن تر، تغییر وزن خشک با تغییر سطح شوری در هر دو رقم گندم با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارد و رقم میهن نسبت به حیدری حساس‌تر است.در مجموع تیمار با باکتری در هر سطح از تنش شوری باعث افزایش وزن خشک گیاهچه‌ها نسبت به گروه کنترل شدند. این امر می تواند به تولید و انباشتگی ترکیباتی مانند اسمولیت‌ها در گیاه جهت مقاومت در برابر تنش شوری باشد(۹).

ممکن است کاهش وزن خشک و تر در غلظت‌های بالای نمک در اثر اختلال در جذب مواد غذایی لازم جهت رشد باشد. این کاهش می‌تواند در نتیجه اثرات منفی تنش شوری روی تولید ریشه‌ها و ساقه‌های کم وزن تر توسط گیاهچه باشد. سمیت یونی، عدم تعادل عناصر غذایی و بهم خوردن تنظیم اسمزی ازاثرات تنش شوری است. محیط شور دارای مقدار زیادی از یون‌های مضر مانند منیزیم، کلر، سدیم و سولفات می‌باشد که یا خود آنها مضر هستند یا باعث اختلال در متابولیسم‌های عناصر غذایی دیگر می-شوند. مثلاً رقابت سدیم با پتاسیم و کلر با نیترات باعث اختلال در جذب عناصر غذایی می‌شود. در نتیجه گیاه با صرف انرژی بیشتر برای تولید مواد آلی خود، انرژی لازم برای مقابله با تنش شوری را از دست داده و کارایی ریشه با کاهش مواجه شده و نهایتاً رشد اندام هوایی کاهش یافته و از طول و وزن آنها کاسته شـ ده و در نهایت وزن خشک برگ و اندام هوائی با کاهش مواجه می‌شود(۳).

در رقم میهن بین طول ریشه و طول بخش هوایی و سطح برگ همبستگی مشاهده نشد اما در رقم حیدری بین طول ریشه با طول بخش هوایی یک همبستگی متوسط و با سطح برگ یک همبستگی ضعیف دیده شد که این امر می تواند نشان دهنده ارتباط بین ریشه (بعنوان اندامی که آب و عناصر غذایی لازم را بسایر اندام ها منتقل می‌کند) با اندام هوایی و برگ باشد. یعنی تا زمانی که تنش شوری وجود ندارد این انتقال با موفقیت صورت گرفته و هر گونه افزایش درطول یا وزن ریشه باعث افزایش طول و وزن برگ و اندام هوایی و بیومس کل خواهد شد وبر عکس هر چه گیاه در معرض شوری قرار بگیرد با کاهش بیومس ریشه از وزن سایر قسمت ها نیز بدلیل عدم انتقال یا انتقال کم آب و عناصر غذایی از ناحیه ریشه کاسته خواهد شد. این نتایج با نتایج اقبال و نسیم (۲۴) که ضرایب همبستگی بین صفات در مرحله گیاهچه‌ای را معنی‌دار ارزیابی کرده بودند، مطابقت داشت. از طرفی انتقال کربوهیدرات‌های غیرساختمانی از ریشه به اندام هوایی در شرایط شوری نسبت به شرایط طبیعی کمتر است، در نتیجه بیوماس کل تولید شده در اثر تنش شوری کاهش می یابد . دلیل دیگر کاهش وزن بیوماس کل می‌تواند ناشی از هزینه انرژی متابولیک مربوط به سازگاری در شرایط تنش، کاهش نرخ فتوسنتز در واحد سطح برگ ،کاهش جذب کربن، صدمه به بافت‌ها و رسیدن به حداکثر غلظت نمکی باشد که گیاه آن را تحمل می‌کند. کاهش وزن خشک بیوماس در اثر افزایش سطوح شوری نشان دهنده حساس بودن گندم به تنش شوری در مراحل اولیه رشد و بخصوص در مرحله ۴-۳ برگی می‌باشد(۳)

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

برگ مکان اصلی فتوسنتز در گیاه است و هرگونه آسیب فیزیکی و عملکردی به آن موجب کاهش عملکرد گیاه می‌گردد. کاهش سطح برگ یکی از اولین واکنش های گیاهان در برابر تنش شوری می‌باشد . به این دلیل که تجمع ماده خشک و سطح برگ توسط شوری بطور پیوسته کاهش می‌یابد، ممکن است کاهش سطح برگ یکی از دلایل کاهش رشد در اثر شوری باشد. تنش شوری از طریق کاهش تکثیر سلولی و کاهش تجمع ماده خشک باعث کوتاه شدن میانگره‌ها شده و ارتفاع بوته و در نتیجه وزن خشک برگ و اندام هوایی را کاهش می‌دهد . البته بعضی از منابع علت اصلی کاهش وزن برگ را کاهش تعداد پنجه در گلدان و در نتیجه کاهش سطح برگ دانسته‌اند. آنها بیان داشتند که مقداری از تفاوت در تعداد پنجه به تفاوت‌های ژنتیکی ارقام بر می‌گردد (۶). سطح اندام‌های فتوسنتز کننده در اثر تنش شوری براثر مرگ تعدادی از برگ ها بسیار کاهش می‌یابد و راندمان فتوسنتز برگ های باقی مانده نیز زیاد نمی-باشد. در این تحقیق هم مشاهده شد که در اثر تیمار شوری و در غیاب باکتری سطح برگ کاهش یافت اما تیمار با باکتری باعث افزایش سطح برگ نسبت به عدم حضور باکتری گردید. مقصودی و همکاران(۱۳۹۳) نشان دادند که در اثر کاربرد اکسین، شاخص سطح برگ افزایش یافته و در دوام سطح برگ گندم دوروم نیز اثر مثبتی نشان داد(۸). تولید اکسین توسط این باکتری مورد تایید قرار گرفت که با نتایج Lastochkina و همکاران(۲۰۱۷) مطابقت دارد(۱۸). از این رو می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش سطح برگ در هر دو رقم مورد مطالعه می‌تواند بدلیل تولید اکسین توسط باکتری باسیلوس سوبتیلیس باشد. درنهایت بر مبنای صفات مورد بررسی، رقم حیدری در برابر تنش شوری مقاومتر از رقم میهن بود. با توجه به نقش این باکتری در تحمل شوری گیاه، پیشنهاد می‌شود که در مورد جایگاه استقرار این باکتری در گیاه و سایر تاثیرات آن بر فیزیولوژی و عملکرد اقتصادی رقم های تجاری بومی گندم مطالعات تکمیلی انجام گردد.

سپاسگزاری

این پروژه تحقیقاتی در دانشکده‌های علوم پایه دانشگاههای بوعلی‌سینا و لرستان انجام شده که بدین‌وسیله از کلیه کسانی که در انجام این پروژه همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- احمدی، ک.، عبادزاده،ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ.، ۱۳۹۹ آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۲- بناکار، م.ح.، امیری، ح.، رنجبر، غ.ح.، سرافراز اردکانی، م.ر.، ۱۴۰۰، تعیین آستانه تحمل به شوری توده‌های مختلف شنبلیله (*Trigonella Foenum-graecum L.*) در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های تجربی، مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۴(۴): ۹۱۱-۸۹۷.

۳- زادوریان, گ.، خدارحمی، م.، امینی، ا.، مصطفوی، خ.، ۱۳۹۰، بررسی تاثیر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر بیوماس ارقام تجارتی گندم نان در مرحله گیاهچه ای. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۷(۱): ۸۳-۶۹.

۴- عباس‌پور، ن.، مسیبی، م.، محمدخانی، ن.، رحمانی، ف.، ۱۴۰۱، تاثیر شوری بر جوانه‌زنی بذر و خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌های *Salsola crassa* مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۵(۱): ۱۱۱-۹۹.

۵- فرهودی, ر. (۱۳۹۲). بررسی اثر تنش شوری بر رشد و ویژگیهای فیزیولوژیک نه رقم گندم در مرحله رشد رویشی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۵(۲۰): ۸۶-۷۱.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲
DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

۶- کافی, د. ا.، استوارت ، م. ۱۳۸۰. اثرات شوری در رشد و عملکرد نه رقم گندم. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۱۲(۱).

۷- مستاجران, ا. ، قاسمی ،ح. ر. ۱۳۹۷. بررسی اثر همیاری باکتری آزوسپیریلوم برازیلنس (*Azospirillum brasilense* Sp7 and Sp245) بر شاخص‌های رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی دانه رست‌های گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط شوری. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) ۳۱(۳).

۸- مقصودی, ب.، جعفری حقیقی، ب.، جعفری، ع.، تاثیر کاربرد عناصر ریز مغذی و هورمون اکسین بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم دوروم." اکوفیزیولوژی گیاهی ۶(۱۶): ۲۶-۱۳.

9- Acosta-Motos JR, Ortuño MF, et al. 2017 . Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. Agronomy 7(18)

10- Bates, L. S., S. Waldren, et al. 1993. Rapid determination of free proline for water–stress studies. Plant Soil 39:205-207

11- Berg, G. 2009 Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of micro-organisms in agriculture. Appl Microbiol Biotechnol 84:11-18

12- Bric JM, Bostock RM, et al. 1999. Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose Membrane. Applied and Environmental Microbiology 57:535-538.

13- Choudhary, D. K., A. K. Sharma, et al. 2017 Volatiles and food security, Springer.

14- Dodd, I., C, and F. Perez-Alfocea. 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress J Exp Bot 63:3415-3428.

15- Forni, C., D. Duca, et al. 2017. Mechanisms of plant response to salt and drought stress and their alteration by rhizobacteria. Plant Soil 410:335-356.

16- Hashem, A., E. F. Abd-Allah, et al. 2019. Comparing symbiotic performance and physiological responses of two soybean cultivars to arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. Saudi J Biol Sci 26(1):38-48.

17- Karthik, M., P. Periyasamy, et al. 2017. Endophytic bacteria associated with banana cultivars and their inoculation effect on plant growth. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 92:1-9

18- Lastochkina, O., L. Pusenkova, et al. 2017. Effects of Bacillus subtilis on some physiological and biochemical parameters of Triticum aestivum L. (wheat) under salinity. Plant Physiology and Biochemistry. 121:80-88

19- Liu, H., L. C. Carvalhais, et al. 2017. Inner Plant Values: Diversity, Colonization and Benefits from Endophytic Bacteria. Frontiers in Microbiology. 8:25-52

20- Munns R, Husain S, et al.2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant Soil. 247:93-105

21- Munns R, James RA, et al. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany. 57:1025-1043

22- Munns, R. and R. A. James. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil .253:201–218.

23- Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Rev. Plant Biol. Annu 59:651-681.

24- Naseem, A., M. S. Iqbal, et al.2001. Comprative Performance of Wheat (Triticum aestivum L.) Genotypes under salinity stress II: Ionic composition. Journal of Biological Science. 1:43-45 .

25- Patten, C. L. and B. R. Glick . 2002. Role of pseudomonas putida indoleacetic acid in development of host plant root system. Applied Environmental Microbiology 68:3795-3801.

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲ DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

26- Poustini, K., A. Siosemardeh, et al.2007. Proline accumulation as response to salt stress in 30 wheat (*T.aestivum*) cultivars. Genetic Resource Crop Evolution. 54:925-934.

27- Rajaee S, Reisee F, et al. 2007. Evaluation of the potential of some Azotobacter chroococcum isolates from native soils of Chahar Mahal and Bakhtiari in production of plant growth promoting substances. Scientific Journal of Agriculture of Shahid Chamran University. 30:33-47

28- Robinson, R. J., B. A. Fraaije, I. M. Clark, R. W. Jackson, P. R. Hirsch & T. H. Mauchline (۲۰۱۶) Endophytic bacterial community composition in wheat (*Triticum aestivum*) is determined by plant tissue type, developmental stage and soil nutrient availability. Plant Soil, 405, pages381–396.

29- Soltani, J. 2017. Endophytism in Cupressoideae (Coniferae): A Model in Endophyte Biology and Biotechnology. In: "Endophytes: Biology and Biotechnology". Pp. 127-143. Edited by Maheshwari D. Sustainable Development and Biodiversity, vol 15. Springer

30- Soltani, J., M. Zaheri-Shoja, et al. 2016. Diversity and bioactivity of bacterial endophyte community of Cupressaceae. Forest Pathology 46(4):353-361.

31- Xia Y, De Bolt S, Dreyer J, Scott D and Williams MA 2015 Characterization of culturable bacterial endophytes and their capacity to promote plant growth from plants grown using organic or conventional practices. Front. Plant Sci. 6:490 doi: 10. 3389/fpls.2015.00490

32- Zhao, G. Q., B. L. Ma, et al.2007. Growth, Gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of Nakota Oat in response to salinity. Crop Science. 47:123-131

مقاله پژوهشی، صفحات ۱۶۷-۱۵۲ DOI: 10.22034/JPR.2022.2190

The effect of endophytic bacteria (*Bacillus subtilis* POE26) on growth factors and proline and auxin contents of two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress

Pakzad R.[1], Esfahani M.[1*], Karamian R.[2] and Soltani J.[3]

[1] **Dept. of Biology, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Lorestan, I.R. of Iran**

[2] **Dept. of Biology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran**

[3] **Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I.R. of Iran**

Abstract

In order to investigate the effect of salinity stress on the growth factors, proline and auxin contents of two cultivars of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.), the wheat seeds were pretreated with *Bacillus subtilis* POE26, then the seedlings were planted in pots in controlled laboratory conditions and were irrigated with Hoagland nutrient solution containing 6 different Sodium chloride (NaCl)levels. The plants were harvested at the 4 leaves stage and growth factors and proline and auxin contents were assessed. The results showed a significant difference in the growth of aerial parts between pretreated and non-pretreated plants in different salinity levels. The bacteria increased the germination of seeds only at the high NaCl concentration. Pretreatment of wheat seeds with bacteria increased the auxin content of the plants. The role of bacteria in changing root length was without the involvement of proline. In conclusion, pretreatment of wheat seeds with auxin producing bacteria altered the growth factors, and especially increased the leaf area under salinity stress.

Key words: Wheat, Salinity stress, Endophytic bacteria, Growth factors