University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 15, No. 4, pp. 921-934 (Winter 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4167.1979

Original article

Increasing *Triticum aestivum* (var. Narin) yield with bacteria isolated from rhizosphere of *Seidlitzea rosmarinus*, *Atriplex lentiformis* and *Halostachys belangeriana* under salinity stress

A. Mosleh Arani[1*], A.R. Amini Hajiabadi[2, 3], S. Ghsemi[4], M.H. Rad[5]

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
2. PhD Student, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
3. Central Office of Natural Resources and Watershed Management, Yazd, Iran
4. Associate Proffessor, Department of Soil Science, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
5. Assistant Prof, Forest and Rangeland Division, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Received 20 February 2021; Accepted 22 June 2021

Extended abstract

Introduction

Increasing world population, along with climate change and environmental stresses, has posed a serious challenge to adequate food supply. Salinity is one of the most important stresses affecting the reduction of agricultural products. In recent years, the use of new strategies for sustainable production of food products under salinity stress has been considered, including plant growth promoting rhizosphere bacteria. Due to the strategic importance of wheat in food security, this study was designed and conducted with the aim of increasing the salinity resistance of wheat (Var. Narin) using plant growth promoting rhizosphere bacteria isolated from the rhizosphere of several halophyte plants in Yazd province.

Materials and methods

Plant growth promoting traits such as ability to produce auxin, siderophore, hydrogen cyanide, and phosphate solubility and salinity resistance of isolated bacteria from rhizosphere of halophyte plants (*Atriplex lentiformis*, *Seidlitzea rosmarinus*, *Halostachys belangeriana* and *Tamarix ramossima*) in their habitats in Chahafzal in Yazd Province were investigated. Then, wheat seeds were inoculated with the best three bacteria in terms of plant growth-promoting traits and salinity resistance, and then was irrigated with water with salinities of 4, 8 and 16 ds m^{-1}. After the growth period, total biomass, seed weight and spike components and seed amylose and amylopectin were measured.

Results and discussions

The studied bacteria including *Bacillus safensis*, *B. pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans* had the ability to produce auxin, siderophore, hydrogen cyanide, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase (ACC deaminase) and phosphate solubility. The highest amount of auxin production was measured in B. safensis (29.72 µg ml^{-1}) and the highest amount of hydrogen cyanide production and phosphate solubility was in *Z. halotolerans*. The highest amount of ACC deaminase was measured in *B. pumilus* (8 µmol of α-ketobutyrate h^{-1} mg^{-1} protein). The results showed that increasing salinity levels

* Corresponding author: Asghar Mosleh Arani; E-Mail: amoleh@yazd.ac.ir

© 2022, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

decreased spike length, spike weight, number of spikelets, number of florets, number of seed, seed weight, amylose and amylopectin content of seeds. The length and weight of spikes at salinity of 16 dS m^{-1} decreased by 36% and 18%, respectively, compared to the non-salinity control. Instead, *B. safensis*, *Z. halotolerans* and *B. pumilus* caused an average increase of 35, 22, and 17.6% of the spike length at salinity stress levels (4, 8, and 16 dS m^{-1}), respectively, compared to the uninoculated controls. Also, B. *safensis*, *B. pumilus* and *Z. halotolerans* bacteria caused an average increase of 69, 43 and 30% of spike weight in salinity stress levels compared to the uninoculated control, respectively. The number of spikelets and number of florets at salinity of 16 dS m^{-1} decreased by 27 and 43%, respectively, compared to the non-salinity control. In all salinity stress levels, *B. safensis*, *Z. halotolerans* and *B. pumilus* caused an average increase of 48, 26 and 13% of total biomass, and an average increase of 59, 23 and 7% of seed weight in all salinity stress levels compared to control. *B. safensis*, more than the other two bacteria, improved the total biomass and seed weight of wheat.

Conclusions

Plant growth promoting rhizosphere bacteria in this experiment significantly improved the resistance of wheat to salinity stress. Comparison between the studied bacteria showed that *B. safensis* had a greater effect on the promotion of total biomass, yield and all traits of the studied components than *B. pumilus* and *Z. halotolerans*, due to the superiority of *B. safensis* in auxin production and increasing the ratio of potassium to sodium. It can be concluded that the auxin and the potassium are of key importance in increasing the reproductive performance of Narin cultivar. It is also concluded that the rhizosphere of halophytic rangeland plants can be a good source for the isolation of salinity-resistant bacteria to improve the resistance of wheat plants to salinity.

***Keywords*:** Amylopectin, Auxin, *Bacillus safensis*, Plant Growth Promoting Rhizobacteira

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4167.1979

مقاله پژوهشی

بررسی افزایش عملکرد گندم (رقم نارین) با باکتری‌های جداسازی شده از ریزوسفر (*Atriplex lentiformis*، *Seidlitzia rosmarinus* و *Halostachys belangeriana*) تحت تنش شوری

اصغر مصلح‌آرانی[1*]، علیرضا امینی حاجی‌آبادی[2،3]، سمیه قاسمی[4]، محمد هادی راد[5]

۱. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد
۲. دانشجوی دکتری گروه مدیریت بیابان، دانشکده منابع طبیعی یزد، دانشگاه یزد
۳. کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد
۴. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد
۵. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آمیلوپکتین
اکسین
باسیلوس سافنسیس
باکتری محرک رشد

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۲/۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۴/۰۱

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۱
۱۵(۴): ۹۲۱-۹۳۴

چکیده

این پژوهش با هدف افزایش مقاومت به شوری گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه مقاوم به شوری جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند آتریپلکس، اشنان و سنبله نمکی طراحی و اجرا گردید. صفات محرک رشد گیاه باکتری‌ها در شرایط غیر شور و مقاومت به شوری باکتری‌های جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان مذکور بررسی گردید. باکتری‌های برتر به لحاظ صفات محرک رشد شامل *Bacillus safensis*، *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* شناسایی و به بذر گندم آغشته و پس از کشت گلدانی در گلخانه با آب آبیاری با شوری ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و شوری‌های ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری گردید. در پایان دوره رشد، برخی شاخص‌های رویشی و زایشی گندم اندازه‌گیری شد. شوری باعث کاهش بیومس کل (وزن ریشه + بخش هوایی)، طول سنبله، وزن سنبله، تعداد سنبلچه، تعداد گلچه، تعداد بذر و وزن بذر بر پایه گندم، درصد آمیلوز و درصد آمیلوپکتین بذر شد ولی باکتری‌ها باعث افزایش شاخص‌های مذکور شدند. مقدار بیوماس گندم در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و در تیمار آغشته شده با باکتری *B. safensis* برابر با ۱/۳۸ گرم اندازه‌گیری شد که نسبت به شاهد و دو باکتری دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. مقدار وزن بذر/پایه در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر آغشته شده با باکتری *B. safensis* برابر با ۰/۳۷ گرم به دست آمد که نسبت به شاهد بدون باکتری و باکتری *Z. halotolerans* به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بیشترین مقدار آمیلوز در تلقیح بدون شوری با باکتری *B. pumilus* به مقدار ۱۳/۶۷ درصد، بیشترین مقدار آمیلوپکتین و K/Na به ترتیب برابر با ۳۳/۸ درصد و ۸/۸ در تلقیح بدون شوری *Z. halotoleran* به دست آمد که نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشت نتایج نشان داد که ریزوسفر گیاهان مرتعی شورپسند می‌تواند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری جهت بهبود مقاومت گندم به شوری باشد.

مقدمه

برآورد می‌شود مساحت کل نواحی متأثر از شوری در جهان، بالغبر ۸۳۰ میلیون هکتار (بیش از ۶ درصد اراضی جهان) بوده که با توجه به شیوه‌های نادرست مدیریت آب‌وخاک و تغییرات اقلیمی، حدود ۵۰ درصد اراضی قابل‌کشت با مشکل شوری روبرو خواهند شد (Acosta-Motos et al., 2017). بررسی گستره اراضی متأثر از شوری در ایران نیز، حاکی از

* نگارنده پاسخگو: اصغر مصلح‌آرانی. پست الکترونیک: amoleh@yazd.ac.ir

افزایش سطح آن از ۱۵/۵ میلیون هکتار در سال ۱۹۶۴ به ۵۵/۶ میلیون هکتار در سال ۲۰۰۰ است (Banaei et al., 2004). شوری آب‌وخاک، از عوامل عمده محدودکننده تولید کشاورزی و امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده به‌طوری‌که باعث کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی محصول غلات مهم شامل گندم، برنج و ذرت در سرتاسر جهان است (Subiramani et al., 2020). دراین‌بین، گندم به‌عنوان منبع غذایی اصلی برای ۴۰ درصد مردم جهان، بیشترین سطح کشت در جهان را به خود اختصاص داده و در کشورهای درحال‌توسعه با تأمین ۶۰ درصد کالری موردنیاز روزانه، دارای جایگاه مرکزی در سبد تغذیه انسان است (Giraldo et al., 2019).

تنش شوری با تأثیرات اسمزی، بر هم زدن توازن یونی سیتوپلاسم به‌ویژه نسبت پتاسیم به سدیم و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، باعث اختلال در عملکرد آنزیم‌ها و کاهش فتوسنتز در گیاهان می‌شود (Negrao et al., 2017; Mosleh Arani et al., 2018). این تأثیرات در گندم به شکل کاهش بیومس گیاهی و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد زایشی از قبیل طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد و وزن دانه ظاهر می‌شود (Gholizadeh et al., 2014). ازآنجاکه حدود ۷۰ درصد وزن خشک دانه گندم را نشاسته تشکیل می‌دهد بنابراین در شرایط تنش شوری، کاهش محتوای ساکارز قابل ذخیره به‌صورت نشاسته (Acosta-Motos et al., 2017) و کاهش فعالیت آنزیم‌های سازنده نشاسته به دلیل کاهش نسبت پتاسیم به سدیم (Amal et al., 2020) از عوامل مؤثر در کاهش وزن دانه گندم گزارش شده است.

برای کاهش اثرات تنش شوری بر محصولات زراعی، علاوه بر روش‌های بهنژادی و تکنیک‌های زراعی مرسوم، آغشته کردن گندم با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد مقاوم به شوری، به‌عنوان راهکاری با منافع چندگانه برای افزایش عملکرد گندم در شرایط تنش شوری معرفی شده است. باکتری‌های محرک رشد گیاه ریزوسفری نه‌تنها با سازو-کارهای مختلف مانند تسهیل جذب مواد مغذی به گیاه از طریق تثبیت نیتروژن، انحلال و قابل‌جذب نمودن فسفات و پتاسیم معدنی برای گیاه، جذب ریزمغذی‌هایی مانند آهن و تعدیل سطح هورمون‌های گیاهی باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری می‌شوند بلکه نیاز به کودهای شیمیایی را نیز جبران و فعالیت عوامل بیماری‌زای گیاهی را متوقف کرده یا کاهش می‌دهند (Etesami and Maheshwari, 2018). مطالعات انجام‌شده نیز حاکی از تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد ریزوسفری بر عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری است (Arshadullah et al., 2017). یکی از باکتری‌های مفید ریزوسفری، باکتری *Zhihengliuella halotolerans* است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۷ در کشور چین شناسایی شد (Zhang et al., 2007). مطالعات بعدی روی این جدایه نشان داد که دارای صفات محرک رشد گیاه شامل قابلیت انحلال فسفات غیرمعدنی، تولید سیدروفور، آنزیم ACC دآمیناز و تثبیت-کننده نیتروژن است و اثرات مثبت این باکتری بر روی رشد تعدادی از گیاهان ازجمله *Salicornia brachiata* نشان داده شد (Jha et al., 2012) یکی دیگر از باکتری‌هایی که صفات محرک رشدی متعددی دارد، باکتری *Bacillus pumilus* است. مطالعات نشان داد آغشته کردن این باکتری به گیاه گندم باعث تحریک رشد گندم شد (Ansari et al., 2019). ولی تأثیر این باکتری بر رقم‌های مختلف گندم ممکن است متفاوت باشد. ازآنجاکه از جنس باسیلوس، گونه B. safensis نیز موردمطالعه قرارگرفته و اثرات محرک رشدی آن روی برخی از گونه‌ها مانند برنج (Khan et al., 2017)، خردل هندی (Nazil et al., 2021) نشان داده شده است. این باکتری که برای اولین بار در کشور آمریکا شناسایی شد، مقاوم در محیط‌های شور، عناصر سنگین و اشعه ماورای بنفش است (Satomi et al., 2006).

با توجه به گستردگی منابع آب‌وخاک شور و نیز اهمیت راهبردی گندم در تأمین امنیت غذایی کشور، پژوهش حاضر به بررسی تأثیر سه گونه باکتری جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند بومی استان یزد بر افزایش مقاومت به شوری گندم رقم نارین در قالب شاخص‌های بیومس کل و اجزای عملکرد زایشی گندم پرداخته است. ازآنجاکه رقم نارین، حاصل عملیات بهنژادی و مناسب برای کشت در مناطق متأثر از شوری کشور است (Seed and Plant Research Improvement Institute, 2016) لذا هم-افزایی تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد گیاه موردنظر با مقاومت به شوری ژنتیکی رقم مزبور، می‌تواند تأثیر مطلوبی در افزایش عملکرد این رقم گندم داشته باشد. هدف اول از این تحقیق جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری از ریزوسفر گیاهان شورپسند اشنان، سنبله نمکی و آتریپلکس و ارزیابی صفات محرک رشد گیاه در آن‌ها است. هدف دوم بررسی تأثیر

این باکتری‌ها بر رشد و عملکرد گندم رقم نارین در شرایط شور است. بر اساس اطلاعات موجود اولین تحقیقی است که باکتری‌های محرک رشد گیاهان مذکور جداسازی و موردمطالعه قرار می‌دهد. تأثیر برخی باکتری‌های شناسایی-شده در این تحقیق بر گندم تاکنون موردبررسی قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

باکتری‌های شورپسند از ریزوسفر سه گونه شورپسند آتریپلکس (*Atriplex lentiformis* Torr. S. Watson)، اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* Ehrenb. ex Bois) و سنبله نمکی (مارونگ) (*Halostachys belangeriana* Moq Botsch) از رویشگاه این گیاهان در منطقه چاه‌افضل اردکان در ۷۰ کیلومتری شهر یزد در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ جداسازی شد. به این منظور نمونه‌برداری خاک ریزوسفری (خاک یک تا دو میلی‌متری اطراف ریشه) از ریشه‌های باریک که در عمق حدود یک متری سطح زمین قرار داشتند از گونه های درختچه‌ای شورزی بیابانی موردنظر صورت گرفت. برای جداسازی باکتری‌ها ۱۰ گرم از خاک ریزوسفری به ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۹۰ میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم ۰/۹ درصد منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه به‌وسیله شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد تکان داده شدند. سپس سری‌های رقت خاک تهیه و یک‌دهم میلی‌لیتر از آن روی ظروف پتری‌دیش حاوی محیط کشت آگار مغذی (Nutrient agar) پخش گردید. گونه‌های باکتری مشابه براساس خصوصیات فنوتیپی (شکل، تحرک، رنگ، سرعت رشد، مورفولوژی کلنی) و رنگ‌آمیزی گرم گروه‌بندی و در یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس برای مطالعه بیشتر ذخیره شدند (Ilyas et al., 2020; Amini et al, 2021).

جهت جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری از نمونه‌های خاک ریزوسفری، عصاره‌های خاک روی محیط‌های کشت نوترینت آگار با سطوح شوری صفر (شاهد)، چهار، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم در سه تکرار به‌صورت یکنواخت کشت و سپس پلیت‌ها به مدت یک هفته در انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سلسیوس در آزمایشگاه بیولوژی خاک در دانشگاه یزد نگهداری شدند. بعد از گذشت یک هفته، باکتری‌های مقاوم (رشد یافته در شوری های بالا) جداسازی شدند و خالص‌سازی آن‌ها با روش کشت خطی انجام شد (Ilyas et al., 2020).

شناسایی مولکولی باکتری‌ها بر اساس روش ویسبرگ و همکاران (Weisburg et al., 1991)، اندازه‌گیری کمی تولید ایندول استیک اسید طبق روش بنت و همکاران (Bent et al., 2001)، اندازه‌گیری انحلال فسفات معدنی طبق روش ژین و همکاران (Jeon et al., 2003)، ارزیابی تولید سیدروفور از روش الکساندر و زوبرر (Alexander and Zuberer, 1991)، توان تولید سیانید هیدروژن از روش دونیت کوریا و همکاران (Donate-Correa et al., 2004) و سنجش فعالیت آنزیم ACC دآمیناز از روش هانما و شیمومورا (Honma and Shimomura, 1978) تعیین شد.

بذر گندم رقم نارین از بخش تحقیقات غلات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد تهیه شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی با دو عامل شامل گونه باکتری در چهار سطح (یک سطح بدون باکتری به‌عنوان شاهد و ۳ جدایهٔ باکتری متحمل به شوری از گیاهان شورپسند منطقه)، تنش شوری در چهار سطح شوری (آب آبیاری با شوری ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و شوری‌های ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر تهیه شد) و در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای (در دانشگاه یزد) انجام شد. بذرها، با گونه‌های باکتری‌های موردنظر با تراکم جمعیت ۱۰۸×۳ در هر میلی‌لیتر سوسپانسیون، به مدت ۲۴ ساعت آغشته شد. علاوه بر این، بعد از کشت بذرها در گلدان، به هر بذر سه میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتری اضافه شد. دو کیلوگرم خاک استریل با بافت شنی لومی (جدول ۱) در گلدان‌های پلاستیکی استریل به ارتفاع ۲۱ و قطر دهانهٔ ۱۶ سانتی‌متر ریخته شد. خاک زراعی مورد آزمایش از یک زمین آیش که به مدت چند سال مورد کشت نبوده انتخاب شد. نتایج آزمایش نشان داد که شوری خاک برابر با ۲/۹ دسی زیمنس بر متر و اسیدیته آن برابر با ۷/۲ بود. در هر گلدان هشت بذر جوانه‌زده در عمق دو سانتی‌متری کاشته شدند. برای جلوگیری از وارد شدن شوک به گیاهان، تیمارهای شوری به‌صورت تدریجی اعمال شد. همچنین به‌منظور اطمینان از رسیدن به شوری موردنظر هر هفته یک‌بار هدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها اندازه‌گیری شده و در صورت افزایش بیش از شوری تیمار، آبشویی با آب شاهد (آب آبیاری با شوری ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر) انجام گردید. نهال‌ها در مرحله سه برگی فقط در دو مرحله محلول هوگلند دریافت

کردند. بعد از مرحله رشد کامل بوته‌ها، بیومس کل (وزن ریشه + بخش هوایی)، برخی پارامترهای اجزای عملکرد زایشی شامل طول سنبله، وزن سنبله، تعداد سنبلچه، تعداد گلچه، تعداد بذر و وزن بذر بر پایه گندم، درصد آمیلوز و درصد آمیلوپکتین بذر اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمون گلخانه‌ای

Table 1- Selected physical and chemical characteristics of the greenhouse experiment soil

رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	مس Cu	سدیم Na	منیزیم Mg	درصد اشباع SP	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC
----------%----------			----------mg kg^{-1}----------			%		dsm^{-1}
8	19	73	0.72	10	204	31	7.2	2.9

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

کلسیم Ca	کربن آلی C	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	پتاسیم قابل‌جذب K	فسفر قابل‌جذب P	نیتروژن N
mg kg^{-1}	%	----------mg kg^{-1}----------					%
312	0.42	10.4	8.5	1.1	168	15.8	0.04

نتایج و بحث

شناسایی مولکولی جدایه‌ها و صفات محرک رشد گیاه آن‌ها

پس از جداسازی باکتری‌های ریزوسفری از چهار گونه شورپسند، یک (یا چند) جدایه مقاوم به شوری از هر گیاه (که قادر به رشد روی محیط‌های کشت نوترینت آگار با سطح شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم بودند) انتخاب شد. سپس از بین آن‌ها، جدایه‌های برتر ازلحاظ صفات محرک رشد گیاه انتخاب گردید. با انجام شناسایی مولکولی جدایه های برتر، سه گونه باکتری *Basillus safensis* (MW295355) (از ریزوسفر آتریپلکس لنتی‌فورمیس)، *Bacillus pumilus* (MW295357) (از ریزوسفر مارونگ) و *Zhihengliuella halotolerans* (MW295355) (از ریزوسفر اشنان) شناسایی گردید. تمام مراحل شناسایی جدایه باکتری‌ها توسط شرکت سلول کاوشگر ژن پژوه (شماره ثبت ۳۴۳۸۱) انجام شد.

نتایج نشان داد که هر سه باکتری موردبررسی قادر به تولید اکسین بودند. بیشترین مقدار تولید اکسین در باکتری *B. safensis* معادل ۲۹/۷۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه گیری شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از باکتری *B. pumilus* بود. هر سه باکتری قادر به تولید سیانید هیدروژن بودند و بیشترین مقدار تولید سیانید هیدروژن بر اساس تغییر رنگ کاغذ صافی در باکتری *Z. halotolerans* با درجه ۵ (بسیار بالا) مشاهده شد. مقدار تولید سیدروفور با اندازه‌گیری قطر هاله نارنجی‌رنگ اطراف کلونی گونه‌ها ارزیابی شد. نتایج حاصل از بررسی توانایی تولید سیدروفور نشان داد هر سه باکتری قادر به تولید سیدروفور بودند. فعالیت آنزیم ACC دآمیناز در هر سه باکتری مشاهده شد و بیشترین مقدار آن در باکتری *B. pumilus* به مقدار ۸ میکرومول آلفا-کتوبوتیرات بر ساعت بر میلی‌گرم پروتئین اندازه‌گیری شد. ارزیابی توانایی انحلال تری کلسیم فسفات در محیط مایع توسط باکتری‌ها نشان داد که هر سه باکتری قادر به انحلال آن بودند. توانایی انحلال فسفات باکتری *Z. halotolerans* (۱۶۲ µg ml^{-1}) بیشتر از دو برابر باکتری *B. safensis* بود (جدول ۲).

اثر آغشته کردن جدایه‌های باکتریایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

نتایج جدول آنالیز واریانس نشان داد که اثر شوری آب آبیاری، اثر باکتری و اثر متقابل شوری × باکتری بر مقدار کلیه صفات موردنظر معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که افزایش شوری (بدون باکتری) تأثیر منفی بر بیومس کل داشت به‌طوری‌که مقدار آن در شوری

۱۶ دسی‌زیمنس بر متر ۴۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۴). درمجموع سطوح تنش شوری (۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) باکتری‌های *B. safensis*، *Z. halotolerans* و *B. pumilus* باعث متوسط افزایش به ترتیب ۴۸، ۲۶ و ۱۳ درصدی بیومس کل نسبت به تیمارهای فاقد باکتری در همین سطوح شوری شدند.

جدول ۲. میانگین تولید ایندول ۳ استیک اسید (اکسین)، سیانید هیدروژن، سیدروفور، ACC دآمیناز و توان انحلال فسفات باکتری‌های موردمطالعه در شرایط غیر شور

Table 2. Average production of Indole 3 Acetic Acid, Hydrogen Cyanide, Siderophore, ACC-deaminase and phosphate solubilization ability by studied Bacteria at non saline condition

باکتری Bacteria	ایندول ۳ استیک اسید Indole-3-acetic acid	سیانید هیدروژن Hydrogen cyanide	سیدروفور Siderophore	ACC دآمیناز ACC deaminase	انحلال فسفات Phosphat Solubilization
	µg ml^{-1}	colour degree	halo to colony diameter, cm	µmol of α-ketobutyrate h^{-1} mg^{-1} protein	µg ml^{-1}
B. safensis	29.72 ^{a}	3 ^{b}	1.50 ^{a}	6 ^{b}	70.33 ^{b}
B. pumilus	22.57 ^{b}	3 ^{b}	0.50 ^{b}	8 ^{a}	116.33 ^{ab}
Z. halotolerans	26.82 ^{a}	5 ^{a}	0.14 ^{c}	6 ^{b}	162.08 ^{a}

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

Columns with same letters, dont have significant difference at 0.05 probability level.

جدول ۳. میانگین مربعات صفات بیومس کل و اجزای عملکرد زایشی گندم تیمار شده با گونه‌های مختلف باکتری در سطوح مختلف شوری

Table 3. Mean square total biomass and yield components traits of wheat treated with different strains of bacteria at different levels of salinity

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	بیومس Biomass	طول سنبله Spike Length	وزن سنبله Spike Weigth	تعداد سنبلچه/پایه Spikelet Number/ Plant	تعداد گلچه/پایه Floret Nunmber/ Plant
Salinity	شوری	3	0.443**	4.10**	0.12**	52.0**	2157**
Bacteria	باکتری	3	0.147**	3.13**	0.08**	37.0**	1066**
Ba × Sa	شوری × باکتری	9	0.053**	1.76**	0.03**	11.0*	230**
Error	خطا	32	0.005	0.38	0.005	4.95	74
CV%	ضریب تغییرات		*7.32*	*9.97*	*12.57*	*18.02*	*15.8*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

S.O.V	منبع تغییر	درجه آزادی df	تعداد بذر/پایه Seed Number/ Plant	وزن بذر/پایه Seed Weigth/ Plant	محتوای آمیلوز Amylose	محتوای آمیلوپکتین Amylopectine
Salinity	شوری	3	119**	0.02**	46.9 **	1.6*
Bacteria	باکتری	3	36.0**	0.02**	82.7 **	99.7 **
Sa×Ba	شوری × باکتری	9	17.0*	0.006*	2.1 *	8.1 **
Error	خطا	32	6.41	0.002	0.795	0.457
CV%	ضریب تغییرات		*15.50*	*17.65*	*10.68*	*2.25*

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد

**, *, Significant at P≤0.01, significant at P≤0.05 respectively

تنش شوری از طریق اختلال اسمزی، سمیت سیتوپلاسمی ناشی از جذب بیش‌ازحد یون‌هایی مانند سدیم و عدم توازن عناصر مغذی و تنش اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن موجب اختلال در فعالیت فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه شده که نتیجه آن کاهش عملکرد فتوسنتز، رشد و نمو و درنهایت کاهش عملکرد زایشی گیاه خواهد بود (Isayenkov and Maathuis, 2019; Mosleh Arani et al., 2011). در پژوهش حاضر، بیومس کل تیمارهای آغشته شده با کلیه باکتری‌ها در هر یک از سطوح شوری نسبت به شاهد خود افزایش یافت که مطابق مطالعات مشابه در این زمینه (Amna et al., 2019) است.

با توجه به قابلیت انحلال فسفات باکتری‌های موردبررسی در این پژوهش، ممکن است باکتری‌های مزبور از یکسو با ترشح اسیدهای آلی بر پتاسیم معدنی، شکل قابل‌جذب آن را برای گیاه در محیط ریزوسفر افزایش داده (Mukherjee et al., 2019) و از سوی دیگر با تولید اگزوپلی ساکاریدها و به دام انداختن سدیم، میزان سدیم در دسترس گیاه را کاهش داده و درمجموع، این فرصت را برای گیاه فراهم نمایند تا تعادل یونی را از طریق افزایش جریان پتاسیم به بخش هوایی و راندن سدیم به ریشه‌ها برقرار نماید (Wang et al., 2016). تأثیر مشابه باکتری‌های محرک رشد بر افزایش نسبت پتاسیم به سدیم برگ گندم در شرایط شوری در مطالعات دیگر نیز (El-Nahrawi and Yassin, 2020) گزارش شده است. فسفر از دیگر عناصر مهم جهت رشد و ترمیم گیاه بوده که در ذخیره و انتقال انرژی در طی فتوسنتز و برای تقسیم سلولی و تشکیل RNA و DNA ضروری است. بااین‌وجود در شرایط تنش شوری، امکان استفاده از فسفر برای گیاه به دلیل رقابت بین یون‌های $H_2PO_4^-$ و CL^- در جذب به ریشه، تثبیت در ترکیب $Ca_3(PO_4)_2$ و نیز مشکل انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه در شرایط شوری، کاهش‌یافته که منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Alori et al., 2017).

بنابراین، معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفر معدنی به ترتیب از طریق ساخت آنزیم‌های فسفاتاز و فیتاز و اسیدهای آلی مانند گلونیک اسید و سیتریک اسید ازجمله صفات محرک رشد بسیار مهم بوده که می‌تواند در یک باکتری وجود داشته باشد (Machado and Serralheiro, 2017). علاوه بر این، تولید سیانید هیدروژن توسط باکتری‌ها که گمان می‌شد صرفاً با محدود نمودن عوامل بیماری‌زا باعث رشد گیاه می‌شود می‌تواند باعث افزایش غیرمستقیم فراهمی فسفر از طریق کلات با عناصر فلزی ترکیب‌شده با فسفر و رهاسازی فسفر در ریزوسفر گردد (Rijavec and Lapanje, 2016). در پژوهش حاضر، هر سه باکتری مورداستفاده با دارا بودن قابلیت انحلال فسفات و تولید سیانید هیدروژن، باعث متوسط افزایش ۱۲۰ درصدی میزان فسفر برگ گندم تیمار شده با باکتری در سطوح تنش شوری نسبت به تیمارهای بدون باکتری در همین سطوح شوری شدند (نتایج نشان داده نشده است). افزایش فسفر برگ گندم در تنش شوری توسط باکتری‌های محرک رشد گیاه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Alikhani et al., 2018).

هورمون اکسین (ایندول-۳- استیک اسید) تولیدی توسط باکتری‌های موردبررسی نه‌تنها با افزایش تعداد و طول ریشه¬های فرعی باعث افزایش جذب مواد مغذی از ریزوسفر شده بلکه همچنین بر تقسیم، تمایز و طویل شدن سلول، افزایش جریان شیره خام، تشکیل رنگ‌دانه‌های گیاهی و افزایش عملکرد فتوسنتز تأثیر دارد (Vacheron et al., 2013). اکسین نقش قابل‌توجهی در افزایش محتوای کلروفیل ایفا می‌کند به‌طوری‌که طی یک پژوهش، کاربرد 100 ppm ایندول-۳-استیک اسید بر برگ گندم، باعث افزایش ۳۱ درصدی محتوای کلروفیل نسبت به شاهد شد (Hanaa and Safaa., 2019). یکی از عوامل کاهش رشد گندم، افزایش میزان هورمون اتیلن و تجمع آن در ریشه در شرایط شوری است. در این شرایط، آنزیم ACC دآمیناز نقش کلیدی در تسهیل رشد گیاهی در شرایط تنش ایفا نموده بدین‌صورت که در پاسخ به تنش ازجمله شوری و زیادشدن میزان اکسین در گیاه (مجموع اکسین باکتریایی و اکسین گیاهی)، بخشی از اکسین صرف رشد گیاه و بخشی موجب تولید ACC به‌عنوان پیش ماده تولید اتیلن می‌شود. در این مرحله چنانچه باکتری محرک رشد قادر به تولید-ACC دآمیناز باشد این مقدار ACC اضافی ناشی از اکسین را خنثی نموده که در غیر این صورت به اتیلن تبدیل و موجب کاهش رشد گیاه می‌شود؛ بنابراین، باکتری‌های دارای توان تولید مشترک اکسین و ACC دآمیناز از عملکرد بهینه در افزایش رشد گیاهی در شرایط تنش برخوردار هستند (Glick, 2014). باکتری‌های موردبررسی در این پژوهش با تولید اکسین وACC دآمیناز باعث افزایش رشد ریشه و بالطبع افزایش جذب مواد مغذی و درنتیجه افزایش بیومس و فتوسنتز گردید.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر گونه باکتری بر صفات بیومس‌کل و اجزای عملکرد زایشی گندم رقم نارین در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

Table 4. Mean comparison of the effect of bacteria on total biomass and yield components of wheat at different salinity levels of irrigation water

شوری Salinity	باکتری Bacteria	بیومس Biomass	طول سنبله Spike Length	وزن سنبله Spike Weigth	تعداد سنبلچه/پایه Spikelet Number/ Plant	تعداد گلچه/پایه Floret Nunmber/ Plant
ds m^{-1}		G	mm	g		
شاهد Control	Non-inoculated	1.07 bc	67 ab	0.50 c	11.0 cdef	53 cde
	B. Safensis	1.07 bc	62 ab	0.40 c	9.0 ef	45 def
	B. Pumilus	1.14 b	65 ab	0.44 c	11.0 cdef	44 defg
	Z. halotolerans	1.30 a	68 a	0.49 c	12.0 bcdef	42 efg
4	Non-inoculated	0.86 de	63 ab	0.49 c	11.0 cdef	53 cde
	B. Safensis	1.38 a	70 a	0.80 a	18.0 a	85 a
	B. Pumilus	1.08 b	67 ab	0.75 ab	15.0 abc	75.0 ab
	Z. halotolerans	0.94 cd	70 a	b 0.65	14.0 abcd	60.0 bcd
8	Non-inoculated	0.73 fg	47 cd	c 0.42	10.0 def	51.0 cde
	B. Safensis	1.15 b	67 ab	0.75 ab	16.0 ab	81.0 a
	B. Pumilus	1.03 bc	55 bc	b 0.64	14.0 abcd	60.0 bcd
	Z. halotolerans	0.88 de	70 a	b 0.65	15.0 abc	62.0 bc
16	Non-inoculated	0.64 g	43 d	c 0.41	8.0 f	30.0 fg
	B. Safensis	0.77 ef	70 a	0.68 ab	13.0 bcde	59.0 cde
	B. Pumilus	0.70 fg	58 ab	0.51 c	12.0 bcde	44.0 defg
	Z. halotolerans	0.70 fg	47 cd	c 0.42	8.0 f	29.0 g

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

شوری Salinity	باکتری Bacteria	تعداد بذر/پایه Seed Number/ Plant	وزن بذر/پایه Seed Weigth/ Plant	محتوای آمیلوز Amylose	محتوای آمیلوپکتین Amylopectine	پتاسیم/سدیم K/Na
ds m^{-1}			g	%	%	
شاهد Control	Non-inoculated	15 def	0.24 cdef	7.50 c	29.0 e	5.52 c
	B. Safensis	12 ef	0.19 ef	7.40 c	28.3 e	8 b
	B. Pumilus	13 def	0.21 def	13.67 a	30.5 d	5.6 c
	Z. halotolerans	15 def	0.23 cdef	11.00 b	33.8 a	8.8 a
4	Non-inoculated	16 cde	0.25 cdef	7.20 c	28.0 e	0.33 gh
	B. Safensis	25.0 a	0.37 a	7.56 c	28.5 e	0.91 ef
	B. Pumilus	20.0 bc	0.30 abcd	11.50 b	33.0 abc	1.24 d
	Z. halotolerans	18.0 cd	0.28 bcde	11.00 b	30.6 d	0.75 f
8	Non-inoculated	15.0 def	0.24 cdef	5.00 d	26.0 f	0.24 h
	B. Safensis	22.0 ab	0.34 ab	7.49 c	28.3 e	0.99 e
	B. Pumilus	18.0 bcd	0.26 bcde	11.10 b	33.5 ab	0.44 gh
	Z. halotolerans	18.0 cd	0.26 bcde	11.24 b	32.4 bc	0.54 g
16	Non-inoculated	11.0 f	0.16 f	2.72 e	24.0 g	0.25 h
	B. Safensis	15.0 def	0.32 abc	4.00 de	28.6 e	0.79 ef
	B. Pumilus	15.0 cdef	0.24 cdef	7.17 c	33.4 ab	0.41 gh
	Z. halotolerans	13.0 ef	0.16 f	8.00 c	32.1 c	0.49 g

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

(Columns with same letters, dont have significant difference at 0.05 probability level)

بر این اساس، برتری باکتری *B. safensis* در افزایش شاخص بیومس کل گندم نارین در این پژوهش را می‌توان ناشی از بیشتر بودن توان تولید اکسین آن نسبت به دو باکتری دیگر در کنار داشتن توان تولید ACC دآمیناز دانست.

نتایج نشان داد که افزایش سطوح شوری باعث کاهش طول سنبله، وزن سنبله، تعداد سنبلچه، تعداد گلچه، تعداد دانه، وزن دانه، میزان آمیلوز و آمیلوپکتین بذرها گردید (جدول ۴). بیشترین وزن و تعداد سنبله به ترتیب ۰/۸ گرم و ۱۸ عدد در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر با باکتری‌های B. safensis به دست آمد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر دو باکتری *B. Safensis* و *Z. halotolerans* و در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر باکتری *B. safensis* باعث افزایش معنی‌دار طول سنبله نسبت به شاهد گردید. *B. safensis* در شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار تعداد گلچه شد. مقدار بیوماس گندم در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و در تیمار آغشته شده با باکتری *B. safensis* برابر با ۱/۳۸ گرم اندازه‌گیری شد که نسبت به شاهد و دو باکتری دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. مقدار وزن بذر/پایه در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر آغشته شده با باکتری *B. safensis* برابر با ۰/۳۷ گرم به دست آمد که نسبت به شاهد بدون باکتری و باکتری *Z. halotolerans* به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بیشترین مقدار آمیلوز در تلقیح بدون شوری با باکتری B. pumilus به مقدار ۱۳/۶۷ درصد، بیشترین مقدار آمیلوپکتین و K/Na به ترتیب برابر با ۳۳/۸ درصد و ۸/۸ در تلقیح بدون شوری *Z. halotolerans* به دست آمد که نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشت.

اصولاً گیاهان برای حفظ انرژی، منابع قابل‌دسترس خود را صرف تولید گل و بذر می‌کنند. بااین‌حال چنانچه در شروع مراحل توسعه زایشی، گیاه با تنش روبرو باشد ممکن است برحسب شدت تنش از تولید بافت‌های زایشی منصرف شده یا از میزان آن بکاهد (Cuellar-ortiz et al., 2008). در پژوهش حاضر نیز با توجه به دوام تنش شوری در مرحله زایشی، کاهش در اجزای عملکرد زایشی شامل طول سنبله، تعداد سنبلچه، تعداد گلچه و تعداد بذر تیمارهای تحت تنش شوری نسبت به شاهد (جدول ۴) قابل‌مشاهده بود. تغییرات میزان آمیلوز و آمیلوپکتین به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده نشاسته گندم در تیمارهای تحت تنش در این آزمایش با توجه به متابولیسم کربن قابل‌تحلیل است. متابولیسم کربن، رابطه بین ارگان‌های تولیدکننده (مانند برگ‌ها) و مصرف یا ذخیره کننده کربن (ریشه‌ها و بذرها) است. جایگاه و اهمیت نسبی محل ذخیره کربن متأثر از بلوغ گیاه و قابلیت دسترسی به عناصر مغذی تغییر می‌کند. در طی رشد رویشی، ریشه‌ها و برگ‌های نابالغ بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه‌های کربن بوده که با حرکت گیاه به مرحله زایشی، محل ذخیره کربن به گل‌ها و بذرها تغییر می‌یابد؛ اما چنانچه مواد مغذی قابل‌دسترس گیاه در هر مرحله‌ای از رشد محدود گردد کربن بیشتری به ریشه‌ها تخصیص خواهد یافت تا جذب و استفاده از عناصر مغذی خاک افزایش یابد که درنتیجه محل‌های ذخیره کربن و نیز نسبت بین منابع کربن در گیاه (ساکارز و نشاسته) تغییر می‌کند. درواقع، ساکارز و نشاسته دو جزء کلیدی کربن در گیاه بوده که نقش متقابل و درعین‌حال تکمیلی برای یکدیگر دارند. در غلات معتدله مانند گندم و جو، کربن اولیه ذخیره برگ به شکل ساکارز بوده و توسعه نشاسته ذخیره در بذر، به قابل‌دسترس بودن کربن در بافت‌های مادری که تبدیل ساکارز به نشاسته را ممکن کند بستگی دارد (Smith and Stitt, 2007). سطوح تنش شوری در این آزمایش، باعث کاهش جذب و اختلال در توازن عناصر مغذی در گیاه شده که نتیجه آن به‌صورت کاهش فتوسنتز (نتایج نشان داده نشده است) بروز نمود. با محدود شدن فتوسنتز، ساکارز مازاد قابل ذخیره به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد چراکه سلول‌های برگ از قندهای محلول برای تنظیم اسمزی مختل شده در اثر تنش شوری استفاده می‌کنند (Acosta-Motos et al., 2017). در این شرایط است که تجزیه نشاسته به‌عنوان پاسخ مشترک گیاهان تحت تنش شوری در برگ گیاه (Thalmann et al., 2016) رخداده که کاهش درصد آمیلوز و آمیلوپکتین بذرهای موردبررسی در این آزمایش (جدول ۴) در این راستا قابل توجیه است.

باکتری‌های *B. safensis*، *B. pumilus* و *Z. halotolerans* موردبررسی در این آزمایش با مجموعه سازوکارهای متنوع محرک رشد (جدول ۲) باعث کاهش اثرات تنش شوری و افزایش طول و وزن سنبله، تعداد سنبلچه، گلچه و درصد آمیلوز و آمیلوپکتین بذر در گیاه گردیدند. تأثیر باکتری‌های محرک رشد در افزایش اجزای عملکرد گندم تحت تنش شوری در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Nawaz et al., 2020). ازجمله تأثیرات باکتری‌ها، افزایش طول و وزن سنبله گندم در سطوح مختلف تنش شوری (جدول ۴) بوده که الزاماً افزایش سطح پوسته و

میزان سیخک‌های سنبله را نیز باعث شده است. در غلات، محل منبع نشاسته که کربن لازم برای پر شدن دانه را تأمین می‌کند در بین گونه‌ها متفاوت است. در گندم، گزارش شده که علاوه بر ساقه و برگ، فتوسنتز سنبله نیز در تأمین کربن لازم برای ذخیره در بذر به‌ویژه در شرایط تنش محیطی سهم دارد. سیخک‌های بیشتر سنبله، باعث افزایش فتوسنتز و پر کردن دانه گندم به‌ویژه در اواخر دوره رشد گندم که برگ‌ها زرد شده اما سنبله هنوز مقداری کلروفیل دارد می‌گردد. (Sanchez-Bragado et al., 2016).

از دیگر نتایج کارکرد سه باکتری موردمطالعه، افزایش جذب عناصر مغذی در گیاه و ایجاد توازن در بین این عناصر به‌ویژه افزایش نسبت پتاسیم به سدیم بود. نسبت پتاسیم به سدیم با افزایش شوری کاهش یافت (جدول ۴). باکتری‌ها باعث افزایش این نسبت شدند، به‌طوری‌که بیشترین افزایش در شوری ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر مربوط به باکتری *B. safensis* بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر باکتری *B. pumilus* به‌طور معنی‌داری نسبت پتاسیم به سدیم را نسبت به سایر باکتری‌ها و شاهد بدون باکتری افزایش داد. در بین عناصر مغذی گیاه، پتاسیم یکی از عناصر حیاتی لازم برای گیاه بوده که نه‌تنها یک جز اصلی در ساختار گیاه بلکه همچنین عملکرد تنظیمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعدد مربوط به تنظیم اسمزی، تحرک روزنه‌ها، ساخت پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات و فعالیت آنزیمی دارد (Amini et al., 2021). در مورد متابولیسم کربوهیدرات و ذخیره نشاسته در بذر، باکتری‌های موردبررسی با افزایش میزان پتاسیم در برگ گندم و تشکیل ATP، انرژی لازم برای انتقال محصولات فتوسنتزی را از برگ فراهم نموده که در غیر این صورت، این ترکیبات در برگ باقی‌مانده و سبب کاهش سرعت و کارایی فتوسنتز می‌شود (Raza et al., 2014). این کاهش در انتقال ساکارز در تفاوت معنی‌دار ذخیره آمیلوز و آمیلوپکتین بذر تیمارهای فاقد باکتری نسبت به تیمارهای آغشته شده با باکتری‌ها (جدول ۴) مشخص است. در مطالعه دیگری نیز درباره تأثیر پتاسیم محلول غذایی بر عملکرد دانه جو با استفاده از تکنیک کربن ۱۴، مشخص شد که تأثیر پتاسیم در تأمین منبع کربن (ساکارز) موردنیاز برای ساخت نشاسته (تأثیر بر افزایش کارایی فتوسنتز) بیشتر از تأثیر آن بر سرعت ساخت نشاسته ذخیره‌ای در دانه است (Beringer and Haeder, 1981). علاوه بر این، مطالعات متعدد نشانگر نقش کاتیون‌های یک ظرفیتی ازجمله پتاسیم و برتری پتاسیم در بین این کاتیون‌ها در افزایش عملکرد آنزیم‌های ساخت نشاسته است. به‌عنوان نمونه، افزایش ۰/۱ مول کلرید پتاسیم باعث هفت برابر شدن تولید آنزیم ساخت نشاسته در سیب‌زمینی شیرین و برنج شد. ارتباط مستقیم عملکرد گندم با میزان پتاسیم و رابطه عکس آن با میزان سدیم در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Amal et al., 2020).

نتیجه‌گیری نهایی

مقایسه بین باکتری‌های موردبررسی نشان داد باکتری *B. safensis* در ارتقاء بیومس کل، عملکرد و کلیه صفات اجزای عملکرد موردبررسی، نسبت به دو باکتری *B. pumilus* و *Z. halotolerans* تأثیر بیشتری داشت. همچنین با توجه به برتری باکتری *B. safensis* در میزان تولید اکسین و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، می‌توان نتیجه گرفت هورمون اکسین و عنصر پتاسیم از اهمیت کلیدی در افزایش عملکرد زایشی گندم رقم نارین در شرایط شور برخوردار می‌باشند. نتایج این پژوهش نشان داد گونه‌های گیاهی عرصه‌های طبیعی از پتانسیل خوبی جهت معرفی باکتری‌های محرک رشد برای افزایش مقاومت به شوری گندم برخوردار است. درمجموع می توان نتیجه‌گیری نمود که علیرغم مقاومت ژنتیکی گندم رقم نارین به شوری، باکتری‌های مورداستفاده در این پژوهش با مجموعه ویژگی‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش معنی‌دار مقاومت به شوری رقم مذکور شده و لذا استفاده از این باکتری‌ها در شرایط کشت مزرعه‌ای پیشنهاد می‌شود. در بین سه باکتری، *B. safensis* از کارایی بیشتری در بهبود شاخص های رشد رویشی و عملکردی گندم نارین برخوردار بود.

منابع

Alexander, D.B., Zuberer, D.A., 1991. Use of Chrome Azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. Biology and Fertility of Soils. 12, 39-45.

Alikhani, H.A., Etesami, H., Mohammadi, L., 2018. Evaluation of the effect of rhizospheric

and non-rhizospheric phosphate solubilizing bacteria on improving the growth indices of wheat under salinity and drought stress. Journal of Soil Biology. 6, 1-15. [In Persian with English summary].

Alori, E.T., Glick, B.R., Babalola, O.O., 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology. 8, 971-984.

Amal, A.l., Temimi, S., Al-Ghrairi, A., Razaq, I., 2020. Effect of potassium and micronutrient fertilization on the activity of catalase and yield of wheat grown in saline conditions. Applied Science. 1, 81-87.

Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M.H., Etesami, H., Shabazi Manshadi, S., Dolati, A. 2021.Mining the rhizosphere of halophytic rangeland plants for halotolerant bacteria to improve growth and yield of salinity-stressed wheat. Plant Physiology and Biochemistry. 163, 139-153.

Amna, U., Sarfraz, S., Xia, Y., Kamran, M.A., Javed, M.A., Sultan, T., Hussain Munis, M.F., Chaudhary, H.J., 2019. Mechanistic elucidation of germination potential and growth of wheat inoculated with exopolysaccharide and ACC-deaminase producing Bacillus strains under induced salinity stress. Ecootoxicology and Environmental Safety. 183, 109-126.

Ansari, F.A., Ahmad, I., Pichtel, J. 2019. Growth stimulation and alleviation of salinity stress to wheat by the biofilm forming Bacillus pumilus strain FAB10. Applied Soil Ecology. 143, 45-54.

Arshadullah, M., Hyder, S.I., Imdad, M., Tariq, S., Jamil, M., 2017. Rhizobacteria containing ACC-deaminase confer salt tolerance to wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on salt-affected field. International Journal of Plant Breeding and Crop Science. 4, 256-260.

Banaei, M. H., Moameni, A., Baybordi, M., Malakouti. M.J., 2004. Iran Soils: New transformations in the identification, management and operation. Soil and Water Research Institute, Tehran. [In Persian].

Bent, E., Tvzun, S., Chanway, C.P., Enebak, S., 2001. Alterations in plant growth and root hormone levels of lodge pole pines inoculated with rhizobacteria. Canadian Journal of Microbiology. 47, 793-800.

Beringer, H., Haeder, H.E., 1981. Influence of potassium nutrition on starch synthesis in barley grains. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 144, 1-7.

Cuellar-Ortiz, S.M., De La Paz Arrieta-Montiel, M., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A. 2008. Relationship between carbohydrate partitioning and drought resistance in common bean. Plant, Cell and Environment. 31, 1399–1409.

Donate-Correa, J., Leon-Barrios, M., Perez-Galdona, R., 2004. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria in *Chamaecytisus proliferus* (tagasaste), a forage tree shrub legume endemic to the Canary Island. Plant and Soil. 266, 261-272.

El-Nahrawy, S., Yassin, M., 2020. Response of different cultivars of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to inoculation by Azotobacter sp. under salinity stress conditions. Journal of Advances in Microbiology. 20, 59-79.

Etesami, H., Maheshwari, D., 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. Ecotoxicology and Environmental Safety. 156, 225-246.

Gholizadeh, A., Dehghania, H., Dvorakb, J., 2014. Determination of the most effective traits on wheat yield under saline stress. Agricultural Advances. 3, 103–110.

Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., Gimenez, E., 2019. World wide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. Agronomy. 9, 352-360.

Glick, B.R., 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiological Research. 169, 30-39.

Hanaa, H., Safaa, A., 2019. Foliar application of IAA at different growth stages and their influenced on growth and productivity of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Physics. 1294, 920-929.

Honma, M., Shimomura, T., 1978. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. Agrictural and Biological Chemistry. 42, 1825–1831.

Ilyas, N., Mazhar, R., Yasmin, H., Khan, W., Iqbal, S., Enshasy, H.E., Dailin, D.J., 2020. Rhizobacteria isolated from saline soil induce systemic tolerance in wheat (*Triticum aestivum*

L.) against salinity stress. Agronomy. 10, 989-1009.

Isayenkov, S.V., Maathuis, F.J.M., 2019. Plant salinity stress: Many un answered questions remain. Frontiers In Plant Science. 10, 1-11.

Jeon, J.S., Lee, S.S., Kim, H.Y., Ahn, T.S., Song, H.G., 2003. Plant growth promoting in soil by some inoculated microorganism. The Journal of Microbiology. 4, 271-276.

Jha, B., Gontia, I., Hartmann, A., 2012. The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new halotolerant diazotrophic bacteria with plant growth-promoting potential. Plant Soil. 356, 265-277.

Khan, M.H.U., Khattak, J.Z.K., Jamil, M., Malook, I., Khan, S.U., Jan, M., Din, I., Saud, S., Kamran, M., Alharby, H., Fahad, S., 2017. Bacillus safensis with plant-derived smoke stimulates rice growth under saline conditions. Environmental Science Pollution Research. 24, 23850-23863

Machado, R.M.A., Serralheiro, R.P., 2017. Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. Horticulturae. Retrieved September 10. 2020. from https://10.3390/ horticulturae3020030.

Mosleh Arani, A., Rafiei, A., Tabandeh, A., Azimzadeh, H., 2018. Morphological and physiological responses of root and leave in Gleditschia caspica to salinity stress. Iranian Journal of Plant Biology. 9(4),1-12. [In Persian with English summary].

Mosleh Arani, A., Bakhshi Khaniki, G., Nemati, N., Soltani, M., 2011. Investigation on the effect of salinity stress on seed germination of Salsola abarghuensis, Salsola arbuscula and Salsola yazdiana. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 18, 267-279. [In Persian with English summary].

Mukherjee, A., Gaurav, A.K., Singh, S., Chouhan, G.K., Kumar, A., Das, S., 2019. Role of potassium (K) solubilising microbes (KSM) in growth and induction of resistance against biotic and abiotic stress in plant. Climate Change and Environmental Sustainability. 7, 212-214.

Nawaz, A., Shahbaz, M., Asadullah Imran, A., Marghoob, M. U., Imtiaz, M., Mubeen, F., 2020. Potential of salt tolerant PGPR in growth and yield augmentation of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline conditions. Frontiers in Microbiology. 11, 201-213.

Nazli, F., Wang, X., Ahmad, M., Hussain, A., Dar, A., Nasim, M., Jamil, M., Panpluem, N., Mustafa, A., 2021. Efficacy of indole acetic acid and xopolysaccharides-producing *Bacillus safensis* Strain FN13 for inducing Cd-stress tolerance and plant growth promotion in *Brassica juncea*. Applied Sciences. 11, 4160-4168.

Negrao, S., Schmockel, S.M., Tester, M., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany. 119, 1–11.

Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Shah, G.M., Khan, I.H., Raza, A., 2014. Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 14, 348–364.

Rijavec, T., Lapanje, A., 2016. Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens, but rather regulating availability of phosphate. Frontiers in Microbiology. 7, 1785.

Sanchez-Bragado, R., Molero, G., Reynolds, M.P., Araus, J.L., 2016. Photosynthetic contribution of the ear to grain filling in wheat: a comparison of different methodologies for evaluation. Journal of Experimental Botany. 67, 2787–2798.

Smith, A.M., Stitt, M., 2007. Coordination of carbon supply and plant growth. Plant, Cell and Environment. 30, 1126–1149.

Satomi., M., La Duc, M.T., Venkateswaran, K., 2006. *Bacillus safensis* sp. nov., isolated from spacecraft and assembly-facility surfaces. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 56, 1735-1740.

Stepanova, A.N., Alonso, J.M., 2016. Cutting out the middle man in light-hormone interactions. Developmental Cell. 39, 524–526.

Subiramani, S., Ramalingam, S., Muthu, T., Nile, S. H., Venkidasamy, B., 2020. Development of abiotic stress tolerance in crops by plant growthpromoting rhizobacteria (PGPR). In: Kumar, M., Etesami, H., Kumar, V. (eds.), Phyto-microbiome in Stress Regulation. Cham Springer, pp. 125-145.

Thalmann, M., Pazmino, D., Seung, D., Horrer, D., Nigro, A., Meier, T., Kolling, K., Pfeifhofer, H.W., Zeeman, S.C., Santelia, D.,

2016. Regulation of leaf starch degradation by abscisic acid is important for osmotic stress tolerance in plants. The Plant Cell. 28, 1860–1878.

Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dye, F., Prigent-Combaret, C., 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. Frontiers in Plant Science. 4, 1-19.

Wang, Q., Dodd, I.C., Belimov, A.A., Jiang, F., 2016. Rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase increase growth and photosynthesis of pea plants under salt stress by limiting Na^+ accumulation. Functional Plant Biology. 43, 161-172.

Weisburg, W.G., Barns, S.M., Pelletier, D.A., Lane, D.J., 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. Journal of Bacteriology. 173, 697–703.

Zhang, Y.Q., Schumann, L.Y., Liu, H.Y., Zhang, Y.Q., Xu, L.H., Stackebrandt, E., Jiang, C.L. & Li, W.J. 2007. Zhihengliuella halotolerans gen. nov., sp. Nov., a novel member of the family Micrococcaceae. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 57, 1018-1023.