مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۸، شماره ۲، صفحات ۱۰۴ الی ۱۱۷ (۱۴۰۰)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 8(2): 104-117 (2021)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.8.2.104

اثر پتانسیل‌های محرک رشد گیاه باکتری‌های ریزوسفری جداسازی شده از چند گونه گیاه مرتعی شورپسند بر رشد رویشی و محتوای یونی گندم

علیرضا امینی حاجی‌آبادی[۱]، اصغر مصلح آرانی[۲]، سمیه قاسمی[۳]، محمد هادی‌راد[۴]، شیما شهبازی منشادی[۳] و حسن اعتصامی[۵]

[۱]اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد، یزد، ایران؛ [۲]گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران؛ [۳]گروه علوم خاک، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد ، یزد، ایران؛ [۴]بخش تحقیقات جنگل و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، یزد، ایران؛ [۵]گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
مسئول مکاتبات: اصغر مصلح آرانی amoleh@yazd.ac.ir

چکیده. تنش شوری، امروزه یکی از مهمترین چالش‌ها در تولید گندم است. باکتری‌های ریزوسفری جداسازی شده از گیاهان شورپسند با سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم موجب افزایش بردباری گیاهان زراعی به شوری می‌گردند. در این مطالعه، صفات محرک رشد گیاه سویه‌های باکتریایی مقاوم به شوری (*Bacillus safensis*، *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans*) جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان مرتعی آتریپلکس، اشنان، گز و سنبله نمکی تعیین و تاثیر آن‌ها بر برخی صفات رویشی و محتوای یونی گندم آبیاری شده با آب شور (آب آبیاری با شوری ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شاهد، ۴، ۸ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر) اندازه‌گیری شد. هر سه سویه باکتری قادر به تولید اکسین، سیانید هیدروژن، سیدروفور و ACC دآمیناز و انحلال فسفات بودند. افزایش سطوح شوری باعث افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم، کلسیم و فسفر در برگ گندم و نیز کاهش طول ساقه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و بیوماس کل نسبت به شاهد گردید. در تیمارهای تحت تنش شوری تلقیح شده با باکتری، کاهش غلظت سدیم تا ۱۷/۷ درصد و افزایش غلظت پتاسیم، کلسیم، فسفر و نسبت پتاسیم به سدیم به ترتیب تا ۳۳، ۲۵/۷، ۲۰۰/۴ و ۴۱ درصد نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد که کارآمدترین باکتری در این زمینه *Z. halotolerans* بود. باکتری‌ها همچنین باعث افزایش طول ساقه، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک بخش هوایی و بیوماس کل به ترتیب تا ۱۷، ۵۸/۶، ۱۳۷، ۸۸ و ۶۶ درصد شدند که در این زمینه باکتری *B. safensis* از بیشترین تاثیر برخوردار بود. نتایج این مطالعه نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاهان مرتعی شورپسند می‌توانند در بهبود شاخص‌های رشد گندم در شرایط شوری نقش داشته باشند. این نتایج همچنین نشان داد که ریزوسفر گیاهان مرتعی شورپسند می‌تواند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری جهت بهبود مقاومت گندم به شوری باشد.

واژه‌های کلیدی. آتریپلکس، اشنان، باسیلوس، ریخت شناسی صفات محرک رشد گیاه

The effect of plant growth promoting potentials of rhizosphere bacteria isolated from several halophytic species on vegetative growth and ionic content of wheat

Alireza Amini Hajiabadi[1], Asghar Mosleh Arani[2], Somaieh Ghasemi[3], Mohammad Hadi Rad[4], Shima Shabazi Manshadi[3] & Hassan Etesami[5]

[1]Central Office of Natural Resources & Watershed Management, Yazd, Iran; [2]Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran; [3]Department of Soil Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran; [4]Forest and Rangeland Division, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Yazd, Iran; [5]Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, Iran
Correspondent author: Asghar Mosleh Arani, amoleh@yazd.ac.ir

Abstract. Salinity stress is an important challenge for wheat production in the world. Plant growth promoting rhizosphere bacteria, isolated from halophytic plants, can increase the tolerance of crop plants to salinity by direct and indirect mechanisms. In this study, plant growth-promoting traits of bacterial strains (*Bacillus safensis*, *Bacillus pumilus*

Received 27.11.2020/ Revised 03.11.2021/ Accepted 03.03.2021/ Published 01.07.2021
دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۷/ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴/ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳/ انتشار: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

and *Zhihengliuella halotolerans*), isolated from the rhizosphere of several halophyte plants, were deterimined and their effects on some vegetative traits and ionic content of wheat plant irrigated with saline water (0.2, as control, 4, 8 and 16 dS/m) were measured. Result showed that all three bacteria were able to produce auxin, hydrogen cyanide, siderophore, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase and soluble phosphate. The increase in salinity levels caused increase in the concentration of sodium and decrease in the concentration of potassium, calcium and phosphorus in wheat leaves, as well as decrease in stem length, shoot and root dry weight, root to shoot dry weight ratio and total biomass. In wheat plants irrigated with saline water and inoculated with the bacterial strains, sodium concentration decreased up to 17.7% and concentrations of potassium, calcium, phosphorus and potassium to sodium ratio increased up to 33, 25.7, 200.4 and 41%, respectively. The most efficient bacterium was found to be *Z. halotolerans*. All bacterial isolates also increased stem length, shoot and root dry weight, root to shoot dry weight ratio and total biomass by 17, 58.6, 137, 88 and 66 %, respectively. The results of this study showed that the plant growth-promoting bacteria of rangeland halophytic plants potentionally improve the growth indices of wheat plants in saline conditions. These results also showed that the rhizosphere of halophytic plants in rangelands can be a good source for the isolation of salinity-resistant bacteria to improve the resistance of wheat plants to salinity.

Key words: *Atriplex, Bacillus,* morphology, plant promoting rhizosphere bacteria*, seidlitzea*

مقدمه

چالش عمده پیش روی کشاورزی، به‌عنوان دانشی با سابقه‌ای دست کم دوازده هزارساله، در عصر حاضر، تامین غذای جمعیت رو به رشد جهان در شرایط دشوار اقلیمی است که مجموعه‌ای از تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله خشکی، شوری، تغییرات زیاد دمایی و سمیت ناشی از مصرف بیش از حد کود و سموم شیمیایی را بر بخش کشاورزی تحمیل نموده است (World Bank, 2019; Ghahremaninejad et al., 2021). شوری آب و خاک از جمله عوامل تنش‌زا بر تولیدات زراعی بوده که پیش بینی می‌شود بدلیل تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری نادرست بشر از منابع خاک و آب، روند رو به رشد داشته باشد. شوری به شدت عملکرد گیاهان نیمه‌حساس به شوری، مانند گندم و ذرت را از طریق تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی، زیستی و متابولیکی تحت تأثیر قرار داده و عملکرد آنها را کاهش می‌دهد (Mohajel Kazemi et al., 2020; Etesami & Beattie, 2018). اگرچه ارقام زراعی مقاوم به شوری از طریق فن‌آوری‌های اصلاح ژنتیکی توسعه یافته اما دغدغه‌های مربوطه به اثرات محصولات تراریخته بر سلامت انسان از یک طرف و لزوم رعایت ملاحظات زیست محیطی از سوی دیگر، توجه محققین را به روش‌های کم هزینه و سازگار با طبیعت از جمله استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه در افزایش مقاومت به شوری گیاهان مهم زراعی مانند گندم جلب نموده است (Haddadi & Ghezelbash, 2020; Shi-Ying et al., 2018).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه، با استفاده از سازوکارهایی مانند انحلال مواد مغذی (از قبیل پتاسیم و فسفر) و قابل دسترس نمودن آن برای گیاه از طریق تولید اسیدهای آلی، تولید هورمون‌هایی مانند ایندول‌استیک‌اسید (اکسین) و ACC دآمیناز (خنثی کننده اثر اتیلن)، تولید سیدروفور (موثر در جذب ریزمغذی آهن به گیاه) و سیانید هیدروژن (مقابله با عوامل بیماریزای گیاهی) باعث افزایش بردباری گیاهان از جمله گندم به تنش شوری و در نتیجه بهبود رشد و عملکرد آن می‌شوند (Goswami & Deka, 2020). در این میان، باکتری‌هایی که از زیستگاه‌های تحت شرایط تنش محیطی از قبیل شوری یا خشکی انتخاب گردد به‌دلیل سازگاری با این شرایط از کارآیی بیشتری در افزایش مقاومت گیاه برخوردار خواهد بود (Ansari et al., 2019). گیاهان شورپسند بسیار متحمل به نمک هستند به‌طوری‌که در مناطقی با شوری بالا (EC=30-120 dSm^{-1}) می‌توانند رشد کنند. ریزوسفر گیاهان هالوفیت به عنوان یک آشیانه اکولوژیک مهم برای انواع مختلف ریزوباکتری‌های مقاوم به شوری عمل می‌کند که می‌توانند موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان تحت شرایط تنش شوری شوند (Etesami & Beattie, 2018). به‌عنوان مثال، در یک مطالعه باکتری ریزوسفری و اندوفیتی جداسازی شده از گیاه شورپسند سالیکورنیا توانستند مقاومت گیاه گندم به تنش شوری را افزایش دهند (Razzaghi Komaresofla et al., 2019). 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 تثبیت‌کننده نیتروژن است و اثرات مثبت این باکتری بر روی رشد گیاهان نشان داده شد (Jha et al., 2012). یکی دیگر از باکتری‌هایی که صفات محرک رشدی متعددی دارد، باکتری *Bacillus pumilus* است. مطالعات نشان داد تلقیح این باکتری به گیاه گندم باعث تحریک رشد گندم شد (Ansari et al., 2019). از جنس باسیلوس، گونه *B.safensis* نیز مورد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

مطالعه قرار گرفته و اثرات محرک رشدی آن روی برخی از گونه‌ها 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).

اثرات تنش اسمزی و سمیت یونی (عدم تعادل محتوای یونی) ناشی از تنش شوری در زمینه‌های مختلف مانند کاهش محتوای کلروفیل، بسته شدن روزنه‌ها، اختلال در تولید آنزیم‌ها، تخریب پروتئین‌های دیواره سلولی و تنش اکسایشی بروز می‌کند. این اثرات منفی به‌خوبی در قالب تغییرات محتوای یونی و صفات مرتبط با رشد رویشی گیاهان قابل تشخیص است (Kumar & Verma, 2018).

گیاهان مورد نظر در این پژوهش از گیاهان شورپسند مرتعی منطقه یزد هستند که تاکنون پتانسیل باکتری‌های ریزوسفری آنها در جهت بهبود مقاومت گیاهان زراعی به شوری مطالعه نشده است. لذا در پژوهش حاضر، اثر پتانسیل‌های محرک رشد گیاه باکتری‌های ریزوسفری جداسازی شده از این گیاهان بر رشد رویشی و محتوای یونی گندم در شرایط شوری مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

باکتری منتخب و تعیین ویژگی‌های آنها

باکتری‌های شورپسند از ریزوسفر چهار گونه شورپسند آتریپلکس (*Atriplex lentiformis* (Torr.) S.Wats.)، گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb.)، اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* Ehrenb. ex Boiss.) و سنبله نمکی (مارونگ) (*Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch) از رویشگاه این گیاهان در منطقه چاه‌افضل اردکان در ۷۰ کیلومتری شهر یزد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ به روش پیشنهادی محققان پیشین در این زمینه (Szymańska et al., 2016) جداسازی و خالص‌سازی شدند. بدین منظور ۱۰ گرم از خاک ریزوسفری به ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۹۰ میلی‌لیتر محلول بافر استریل (کلرید سدیم ۰/۹ درصد) منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه بوسیله شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد تکان داده شدند. سپس سری‌های رقت خاک تهیه و یک دهم میلی‌لیتر از آن بر روی ظروف پتری‌دیش حاوی محیط کشت آگار مغذی پخش گردید. تمام پلیت‌ها در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته نگهداری و سپس توسط دستگاه شمارش کلنی، تعداد کلنی‌های باکتری در ظرف پتری مربوط به رقتی از خاک که تعداد کلنی‌های آن بیش از ۳۰ و کمتر از ۳۰۰ عدد بود شمارش و بر این اساس تعداد باکتری‌های ریزوسفری جداسازی مراحل خالص‌سازی این جدایه‌ها پس از کشت مجدد روی همان محیط از طریق بازکشت انجام گرفت. جدایه‌های باکتری مشابه بر اساس خصوصیات فنوتیپی (شکل، تحرک، رنگ، سرعت رشد، مورفولوژی کلنی) و رنگ‌آمیزی گرم گروه‌بندی و در یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد برای مطالعه بعدی ذخیره شدند. به‌منظور ارزیابی میزان تحمل این جدایه‌ها به شوری، جدایه‌ها روی محیط‌های کشت نوترینت‌آگار با غلظت‌های شوری صفر (شاهد)، ۴۰، ۱۶۰، ۳۲۰، ۶۴۰، ۱۲۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ میلی مولار کلریدسدیم در سه تکرار کشت و سپس پلیت‌ها به مدت یک هفته در انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از گذشت یک هفته، مقاومت باکتری‌ها به شوری بررسی شد. برآورد کمی تولید ایندول- ۳- استیک اسید به روش محققین در این زمینه (Bent et al., 2001) انجام شد. به این منظور ابتدا باکتری‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در محیط کشت نوترینت‌براث کشت داده و سپس ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری به ۲۵ میلی‌لیتر محیط نوترینت‌براث حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ال‌تریپتوفان منتقل شد. بعد از ۴۸ ساعت، سوسپانسیون باکتری سانتریفیوژ شده و یک میلی‌لیتر از محلول بالایی با ۲ میلی‌لیتر معرف سالکوفسکی (۱۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر و ۷/۵ میلی‌لیتر ۰/۵FeCl3. 6H2O مولار) مخلوط شد. سپس به مدت ۲۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری و بلافاصله با استفاده از اسپکتروفتومتر، میزان جذب نور در طول موج ۵۳۵ نانومتر قرائت شد. برآورد انحلال فسفات نامحلول در محیط مایع حاوی تری‌کلسیم‌فسفات انجام شد (Jeon et al., 3003). به این منظور از محیط پیکوفسکی که حاوی نمک نامحلول تری‌کلسیم فسفات بود استفاده شد. در این روش، ابتدا باکتری‌ها به مدت ۴۸ ساعت در محیط نوترینت‌براث کشت داده شده سپس ۲۰۰ میکرولیتر از باکتری با جمعیت 10^8 به ۲۵ میلی‌لیتر محیط پیکوفسکی حاوی ۵ گرم در لیتر تری‌کلسیم‌فسفات منتقل شد. سپس ارلن‌های تلقیح شده همراه با یک شاهد به مدت ۱۲۰ ساعت تکان داده شده و بعد از آن اسیدیته آن‌ها قرائت شد. همزمان با عملیات فوق، باکتری سانتریفوژ (با دور ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه) و یک میلی‌لیتر از محلول رویی با ۳ میلی‌لیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر معرف آمونیوم‌مولیبدات- وانادات مخلوط شد. پس از ۱۰ دقیقه خواباندن نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه، میزان جذب نور با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شده و میزان حلالیت فسفر با مقایسه این جذب با منحنی استاندارد تهیه شده با استفاده از KH_2PO_4 محاسبه شد. ارزیابی تولید سیدروفور طبق روش الکساندر و زوبر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

(Alexander & Zuberer, 1991)، توان تولید سیانید هیدروژن بروش دونیت کوریا (Donate-Correa et al., 2004) و سنجش میزان تولید ACC دآمیناز طبق دستورالعمل هانما و شیمورا (Honma & Shimomura, 1978) انجام شد. شناسایی جدایه‌های باکتریایی بر اساس تعیین توالی ژن 16S rRNA طبق روش محققان در این زمینه (Weisburg et al., 1991) صورت گرفت.

پس از جداسازی باکتری‌های ریزوسفری از چهار گونه شورپسند، تعداد چهار جدایه مقاوم به شوری با بهترین صفات محرک رشد انتخاب گردید. با انجام شناسایی مولکولی، دو جدایه مشابه تشخیص داده شد و لذا در نهایت، سه جدایه باکتری *Bacillus safensis* (از ریزوسفر *Atriplex lentiformis*)، *Bacillus pumilus* (از ریزوسفر *Tamarix ramosissima* و *Halostachys belangeriana*) و *Zhihengliuella halotolerans* (از ریزوسفر *Seidlitzia rosmarinus*) شناسایی گردید. در جدول ۲ برخی صفات محرک رشد باکتری‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

آزمایش گلخانه‌ای

بذر گندم رقم قدس از بخش تحقیقات غلات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد تهیه شد. از آنجا که رقم قدس حاصل عملیات بهنژادی و مناسب برای کشت در مناطق معتدل کشور (Seed and Plant Research Improvement Institute, 2016) بوده ولی به شوری حساس است (Shahidi & Miri, 2018) لذا این رقم برای این ارزیابی انتخاب شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کاملا تصادفی با دو عامل شامل جدایه باکتری در ۴ سطح (یک سطح بدون باکتری به‌عنوان شاهد و ۳ جدایهٔ باکتری متحمل به شوری از گیاهان شورپسند منطقه شامل اشنان، آتریپلکس، گز و سنبله نمکی، تنش شوری در چهار سطح شوری در آب آبیاری (آب آبیاری با شوری ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و شوری‌های ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر از طریق اضافه کردن کلریدسدیم به آب شاهد تهیه شد) و در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. بذرها با جدایه‌های باکتریایی مورد نظر با تراکم جمعیت ۳×۱۰^{۸} در هر میلی‌لیتر سوسپانسیون، به مدت ۲۴ ساعت تلقیح شد. علاوه‌بر این بعد از کشت بذرها در گلدان، به هر بذر ۳ میلی‌لیتر مایع تلقیح اضافه شد. ۲ کیلوگرم خاک در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۱ و قطر دهانهٔ ۱۶ سانتی‌متر ریخته شده و در هر گلدان ۸ بذر جوانه زده در عمق ۲ سانتی‌متری کاشته شدند. برای جلوگیری از وارد شدن شوک به گیاهان، تیمارهای شوری به‌صورت تدریجی در طول ۲ هفته اعمال شد. همچنین به‌منظور اطمینان از رسیدن به شوری مورد نظر، هر هفته یک بار قابلیت هدایت الکتریکی زهاب گلدان‌ها اندازه‌گیری شده و در صورت افزایش بیش از شوری تیمار، آبشویی با آب شاهد انجام گردید. در مرحله رسیدگی بذر و سه ماه بعد از کشت، محتوای یونی برگ گندم شامل غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، فسفر، کلسیم و نسبت پتاسیم به سدیم و صفات رویشی شامل طول ساقه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی و بیوماس کل گیاه اندازه‌گیری شد.

سنجش غلظت سدیم و پتاسیم به روش شعله‌سنجی، کلسیم با اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Waling et al., 1989) و فسفر قابل جذب به روش روش اولسن و سامرز (Olsen & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شدند. ابتدا نمونه‌ها در آون و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک و پس از توزین، توسط آسیاب برقی پودر و آماده تجزیه شیمیایی شدند. یک گرم از نمونه‌های پودر شده را در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی خاکستر و سپس در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال حل کرده و محلول توسط کاغذ صافی و پس از شست‌وشوی مواد باقیمانده بر سطح کاغذ صافی با آب مقطر، حجم نهایی به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. با استفاده از این عصاره، غلظت فسفر و کلسیم توسط اسپکتروفتومتر جذب اتمی و سدیم و پتاسیم توسط روش شعله سنجی (فلیم‌فتومتر) اندازه‌گیری شدند. برای سنجش وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS به‌صورت طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

صفات محرک رشد گیاه جدایه‌های شناسایی شده

نتایج نشان داد که هر سه باکتری مورد بررسی قادر به تولیداکسین بودند. بیشترین مقدار تولید اکسین در باکتری *B. safensis* معادل ۲۹/۷۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. هر سه باکتری قادر به تولید سیانیدهیدروژن بودند و بیشترین مقدار تولید سیانیدهیدروژن بر اساس تغییر رنگ کاغذ صافی در باکتری *Z. halotolerans* با درجه ۵ (بسیار بالا) مشاهده شد. مقدار تولید سیدروفور با اندازه‌گیری قطر هاله نارنجی رنگ اطراف کلونی جدایه‌ها ارزیابی شد. نتایج حاصل از بررسی توانایی

جدول ۱- میانگین تولید ایندول ۳ استیک اسید (اکسین)، سیانید هیدروژن، سیدرفور، ACC دآمیناز و توان انحلال فسفات باکتری‌های مورد مطالعه در شرایط غیرشور

Table 1. Average production of indole-3-acetic acid, hydrogen cyanide, siderophore, ACC-deaminase and phosphate solubilization ability by studied bacteria under non-saline condition.

باکتری Bacteria	تری استیک اسید ایندول Indole- 3- acetic acid (μg ml^{-1})	سیانید هیدروژن Hydrogen cyanide (colour degree)	سیدروفور Siderophore (halo diameter,cm)	ACCدآمیناز ACC deaminase (μmol of α-ketobutyrate h^{-1} mg^{-1} protein)	انحلال فسفات Phosphate solubilization (μg ml^{-1})
Bacillus safensis	29.72 [a]	3 [b]	1.5 [a]	6 [b]	70.33 [b]
Bacillus pumilus	22.57 [b]	3 [b]	0.5 [b]	8 [a]	116.33 [ab]
Z. Halotolerans	26.82 [a]	5 [a]	0.14 [c]	6 [b]	162.08 [a]

تولید سیدروفور نشان داد هر سه باکتری قادر به تولید سیدروفور بودند. تولید 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 انحلال تری‌کلسیم‌فسفات در محیط مایع توسط باکتری‌ها نشان داد که هر سه باکتری قادر به انحلال فسفات معدنی بودند. توانایی انحلال فسفات *Z. halotolerans* بیشتر از دو برابر باکتری *B. safensis* بود (جدول ۱).

اثر تلقیح جدایه های باکتریایی بر رشد رویشی و محتوای یونی گندم

نتایج جدول آنالیز واریانس نشان داد که اثر آبیاری با آب شور بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. اثر جدایه‌های باکتریایی نیز بر همه صفات بجز طول ساقه معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل شوری× باکتری بر مقدار کلیه صفات مورد نظر معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شوری به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، طول ساقه نسبت به شاهد ۱۸ درصد کاهش یافت. باکتری‌ها در هر سه تیمار تنش شوری ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش طول ساقه نسبت به شاهد خود شد که این افزایش در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر برای دو باکتری *B. pumilus* و *B. safensis* به ترتیب برابر با ۱۷ و ۱۳/۵ درصد بود. علاوه‌براین، طول ساقه تیمارهای این دو باکتری در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری شاهد نیز بیشتر شده که این افزایش برای *B. pumilus* به میزان ۱۳/۴ درصد بود. در مجموع سطوح تنش شوری نیز بیشترین افزایش طول ساقه نسبت به شاهد به میزان ۹ درصد مربوط به *B. pumilus* بود (جدول ۲).

وزن ساقه با افزایش شوری روند نزولی داشته به‌طوری‌که در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری شاهد، کاهش ۳۲ درصدی داشت. هر سه باکتری در سطوح تنش شوری باعث افزایش وزن ساقه شده که بیشینه آن مربوط به*B. safensis* به میزان ۵۸/۶ درصد در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. علاوه‌براین، وزن ساقه تیمار باکتری*B. safensis* در شوری‌های ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری شاهد، برتری داشته که این افزایش در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر به میزان ۳۳ درصد بود. در مجموع سطوح تنش شوری، *B. safensis* بیشترین افزایش (۴۳ درصد) وزن ساقه نسبت به شاهد را باعث شد (جدول ۲).

با افزایش شوری به سطوح ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، وزن ریشه کم شده به‌طوری‌که در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش معنی‌دار ۴۷ درصدی نسبت به شاهد روبرو شد. هر سه تیمار باکتری در تمام سطوح تنش شوری باعث برتری وزن ریشه نسبت به شاهد خود شده که بیشینه آن مربوط به *B. safensis* با ۱۳۷ درصد افزایش در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین تیمار باکتری *B. safensis* در شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد، به ترتیب برتری معنی‌دار ۷۶ و ۶۴ درصدی داشت. علاوه‌بر-این با در نظر گرفتن هر سه سطح تنش شوری، بیشترین مجموع افزایش وزن ریشه نسبت به شاهد به میزان ۸۴ درصد متعلق به *B. safensis* است (جدول ۲).

با افزایش شوری به ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت وزن ریشه به ساقه روند نزولی داشت به‌طوری‌که مقدار آن در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد، کاهش ۱۷ درصدی (غیر معنی‌دار) داشت. تیمارهای باکتری در سطوح شوری ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش نسبت وزن ریشه به وزن ساقه شده که بیشینه آن مربوط به باکتری *B. safensis* با ۸۸ درصد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر جدایه‌های باکتری بر صفات رویشی برگ گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری.

Table 2. The Mean comparison of bacteria effects on studied vegetative traits in leaf of wheat at different salinity levels of irrigation water.

شوری Salinity (dSm^{-1})	باکتری‌ها Bacteria	طول ساقه Stem Length (cm)	وزن خشک هوایی هر پایه Stem Dry Weigth ($gPlant^{-1}$)	وزن خشک ریشه هر پایه Root Dry Weigth ($gPlant^{-1}$)	وزن ریشه/هوایی Root/Shoot	بیومس کل Total Biomass ($gPlant^{-1}$)
	Non-inoculated	38.94 bcde	0.433 cde	0.094 def	0.221 bcd	0.528 cd
شاهد	*B. Safensis*	39.89 abcd	0.417 cde	0.097 def	0.233 bcd	0.513 cde
(Control)	*B. Pumilus*	36.83 cdef	0.466 bc	0.143 bc	0.315 ab	0.609 c
	Z. halotolerance	44.19 a	0.610 a	0.230 a	0.377 a	0.840 a
	Non-inoculated	35.72 defg	0.350 def	0.107 cdef	0.306 abc	0.457 de
	B. Safensis	40.55 abc	0.555 ab	0.171 b	0.312 ab	0.726 b
۴	*B. Pumilus*	41.78 ab	0.461 bc	0.130 bcd	0.281 abcd	0.591 c
	Z. halotolerans	36.56 cdefg	0.470bc	0.136 bcd	0.287 abcd	0.606 c
	Non-inoculated	36.04 cdefg	0.340 ef	0.067 fg	0.196 cd	0.407 ef
	B. Safensis	35.82 defg	0.446 cd	0.159 de	0.369 a	0.605 c
۸	*B. Pumilus*	36.54 cdefg	0.385 cdef	0.111 cde	0.287 abcd	0.496 cde
	Z. halotolerans	36.29 cdefg	0.425 cde	0.130 bcd	0.306 abc	0.555 cd
	Non-inoculated	32.02 g	0.294 f	0.050 g	0.183 d	0.344 f
	B. Safensis	33.74 fg	0.407 cde	0.083 efg	0.204 bcd	0.490 cde
۱۶	*B. Pumilus*	34.94 efg	0.455 bc	0.116 cde	0.253 bcd	0.571 cd
	Z. halotolerans	34.46 efg	0.415 cde	0.077 efg	0.187 d	0.492 cde

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

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

(معنی‌دار) در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

میزان بیومس کل با افزایش شوری روند نزولی داشته به‌طوری‌که در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر ۳۵ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان داد. تیمارهای باکتری در کلیه سطوح تنش شوری باعث افزایش بیومس کل نسبت به شاهد خود شده که بیشینه آن به میزان ۶۶ درصد مربوط به*B. pumilus* در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. در مجموع سطوح تنش شوری، باکتری *B. safensis* بیشترین میزان افزایش (۵۰/۶ درصد) بیومس کل نسبت به شاهد را باعث شد (جدول ۲).

با افزایش شوری، میزان سدیم برگ افزایش یافت به‌طوری‌که در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس نسبت به شاهد ۱۳۷۱ درصد افزایش داشت. *Z. halotolerans* در تمام سطوح تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار میزان سدیم با حداکثر کاهش ۱۷/۷ درصد در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر شد درحالی‌که *B. safensis* فقط در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌دار ۷/۷ درصدی را باعث شد. *B. pumilus* در هیچ یک از سطوح تنش شوری نتوانست میزان سدیم برگ را به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد کاهش دهد. در مجموع همه سطوح تنش شوری، *Z.halotolerans* توانست سدیم برگ را بیش از دو باکتری دیگر و به میزان متوسط ۱۴ درصد نسبت به شاهد کاهش دهد (جدول ۳).

محتوی پتاسیم برگ با افزایش شوری کاهش داشت چنان‌که میزان آن در سطح شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر معادل ۶۶/۷ درصد مقدار شاهد بود. باکتری *B. pumilus* در شوری ۴، *Z. halotolerans* در شوری‌های ۴ و ۸ و *Bacillus safensis* در شوری‌های ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم برگ نسبت به شاهد گردید. بیشینه افزایش معنی‌دار پتاسیم به میزان ۳۳ درصد مربوط به باکتری *Bacillus safensis* در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. در مجموع سطوح تنش شوری، *Z. halotolerans* پتاسیم برگ را بیش از دو باکتری دیگر و به میزان متوسط ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۳).

نسبت پتاسیم به سدیم با افزایش شوری کاهش یافت. بیشترین افزایش این نسبت به میزان ۴۱ درصد مربوط به باکتری *Z. halotolerans* در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. در مجموع، باکتری‌های *Z. halotolerans*، *Bacillus safensis* و *Bacillus pumilus* به ترتیب باعث متوسط افزایش ۳۷، ۲۰ و ۸/۷ درصدی نسبت پتاسیم به سدیم در سطوح تنش شوری گردید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

میزان کلسیم برگ با افزایش شوری کاهش یافت به‌طوری‌که محتوای کلسیم در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس معادل ۶۶/۷ درصد مقدار آن در شاهد بود. باکتری *Z. halotolerans* در شوری ۸ و ۱۶ دسی-زیمنس بر متر و باکتری *Bacillus pumilus* در شوری ۱۶ دسی-زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار میزان کلسیم نسبت به شاهد خود شدند. در مجموع سطوح تنش شوری *Z. halotolerans* بیشترین افزایش (۱۶/۱ درصد) کلسیم را باعث شد.

میزان فسفر برگ با افزایش شوری کاهش یافت به‌طوری‌که در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌دار ۵۹ درصدی نسبت به شاهد داشت. هر سه باکتری در سه سطح تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار فسفر نسبت به شاهد خود شدند به‌طوری‌که در مجموع سطوح تنش شوری، باکتری‌های *Z. halotolerans*، *Bacillus pumilus* و *Bacillus safensis* میزان متوسط فسفر را به ترتیب ۱۶۳/۳، ۱۶۲/۵و ۹۹/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین افزایش فسفر برگ در بین سطوح تنش شوری در باکتری *Z. halotolerans* در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۲۰۰/۴ درصد اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

بحث

شوری یکی از گسترده‌ترین فرایندهای تخریب خاک بوده که باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله برهم زدن تعادل عناصر غذایی گیاه می‌شود. تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد گیاه متحمل به شوری با توان تولید ویژگی‌های محرک رشد گیاه، اغلب اثرات منفی ناشی از غلظت بالای نمک را کاهش داده و موجب بهبود شاخص‌های رشد گیاه می‌شوند (Etesami & Beattie, 2018; Amini et al., 2021). در این مطالعه، با افزایش شوری، میزان یون سدیم در برگ گندم رقم قدس افزایش و میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم با کاهش روبرو شد. اصولا گیاه در اثر مواجهه با شوری با دو تنش اسمزی و عدم تعادل یونی روبرو می‌شود. گیاهان می‌توانند برای تنظیم اسمزی بجای ساخت ترکیبات آلی که کربن زیادی برای آن مصرف می‌شود از یون‌های سدیم و پتاسیم استفاده کنند (Mosleh Arani et al., 2016; Kouhifayegh et al., 2014; Munns et al., 2011).

یون‌های سدیم و پتاسیم به‌دلیل شباهت‌های فیزیکوشیمیایی بر سر انتقال به داخل سلول رقابت دارند. بنابراین در شرایط تنش شوری که غلظت سدیم در ریزوسفر بسیار بالاست جذب پتاسیم با مشکل

جدول ۳ - مقایسه میانگین اثر جدایه‌های باکتری بر صفات محتوی یونی گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

Table 3. Mean comparison of bacteria effects on studied vegetative traits in leaf of wheat at different salinity levels of irrigation water

فسفر	کلسیم	پتاسیم/سدیم	پتاسیم	سدیم	باکتری	شوری
P	Ca^{2+}	K^+/Na^+	K^+	Na^+	Bacteria	Salinity
($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)		($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)		(dSm^{-1})
813.3 c	150.0 bc	6.94 b	19500.0 b	2810.4 f	Non-inoculated	
715.5 d	154.0 b	7.92 a	22394.8 a	2831.0 f	*B. Safensis*	شاهد
600.0 e	200.0 a	7.02 b	19701.0 b	2810.0 f	*B. Pumilus*	(Control)
998.3 a	150.0 bc	7.97 a	22484.4 a	2821.6 f	*Z. halotolerans*	
400.0 f	150.0 bc	0.43 cd	14500.0 d	34000.0 d	Non-inoculated	
700.0 d	160.0 b	0.40 cd	13500.0 de	34000.0 d	*B. Safensis*	
947.1 ab	166.7 b	0.50 cd	17136.1 c	34385.3 d	*B. Pumilus*	۴
893.3 c	160.0 b	0.59 c	18000.0 c	30500.0 e	*Z. halotolerans*	
330.0 f	106.0 ef	0.39 cd	14000.0 de	36000.0 cd	Non-inoculated	
700.0 d	110.0 ef	0.51 cd	18000.0 c	35000.0 d	*B. Safensis*	
950.0 ab	112.0 ef	0.41 cd	14642.6 d	36000.0 cd	*B. Pumilus*	۸
905.2 b	133.3 cd	0.55 c	17000.0 c	31113.3 e	*Z. halotolerans*	
332.9 f	100.0 f	0.31 d	13000.0 e	41333.9 a	Non-inoculated	
720.0 d	113.3 ef	0.45 cd	17300.0 c	38135.6 bc	*B. Safensis*	
893.3 b	120.0 de	0.32 d	13000.0 e	40000.0 ab	*B. Pumilus*	۱۶
1000.0 a	120.0 de	0.41 cd	14000.0 de	34000.0 d	*Z. halotolerans*	

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

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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

روبرو شده و در نهایت نسبت پتاسیم به سدیم در مایع سلولی کاهش می‌یابد. اما چون سدیم به‌غیر از تامین فشار تورگر قادر به انجام سایر کارکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پتاسیم نیست، لذا در این وضع، ساخت پروتئین‌ها، انتقال انرژی، فعالیت‌های آنزیمی، تحرک سلول‌های محافظ روزنه و فتوسنتز که نیازمند پتاسیم است با اختلال مواجه شده که منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (Rubio et al., 2020). بازدارندگی سدیم بر انتقال پتاسیم، در مرحله جذب پتاسیم از محیط خاک مهمتر از مرحله انتقال در آوند چوبی بوده (Qi & Spalding, 2004) و غلظت پتاسیم در محیط رشد، میزان جذب خالص آنرا مشخص می‌کند (Al-Karaki, 2000). در چنین شرایطی، باکتری‌های محرک رشد با تاثیر بر پتاسیم معدنی، شکل قابل جذب آنرا برای گیاه در محیط ریزوسفر افزایش داده (Mukherjee et al., 2017; Etesami et al., 2019) و این فرصت را برای گیاه فراهم می‌نمایند تا تعادل یونی را از طریق افزایش جریان پتاسیم به بخش هوایی و راندن سدیم به ریشه‌ها برقرار نماید (Wang et al., 2016). در پژوهش حاضر، باکتری‌ها باعث کاهش میزان سدیم و افزایش پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ گندم رقم قدس شده که با نتایج مطالعات دیگر در این زمینه (Akbari et al., 2020; El-Nahrawy & Yassin, 2020) مطابقت دارد. در این زمینه، باکتری *Z. halotolerans* از تاثیر بیشتری برخوردار بود که با توجه به برتری آن در انحلال فسفات‌های معدنی (جدول ۱) می‌تواند ناشی از توان بیشتر آن در تولید ترکیبات اسیدی حلال فسفر و پتاسیم باشد.

میزان فسفر برگ گندم مورد بررسی، با افزایش سطوح شوری کاهش یافت. فسفر از جمله عناصر مهم جهت رشد و ترمیم گیاه بوده که اغلب به‌عنوان ماده انرژی‌زا تعریف می‌شود زیرا این عنصر به ذخیره و انتقال انرژی در طول فتوسنتز کمک کرده و برای تقسیم سلولی و تشکیل RNA و DNA ضروری است. متوسط فسفر خاک ۰/۰۵ درصد وزنی بوده که ۰/۱ درصد از این مقدار در اشکال محلول $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} قابل جذب توسط گیاه است (Alori et al., 2017). با این وجود در صورت تنش شوری، باز هم امکان استفاده از فسفر برای گیاه کاهش یافته که این ناشی از رقابت بین یون‌های $H_2PO_4^-$ و Cl^- در جذب به ریشه (Maksimovic & Ilin, 2012) و نیز مشکل انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه در شرایط شوری بوده که در نتیجه کاهش رشد گیاه را به‌دنبال دارد (Shahriaripour et al., 2011). بنابراین، معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفر معدنی به ترتیب از طریق ساخت آنزیم های فسفاتاز و فیتاز (Ghassemi et al., 1995) و اسیدهای آلی مانند گلونیک اسید و سیتریک اسید (Jamil et al., 2011) از جمله صفات محرک رشد بسیار مهم بوده که هر دو می‌تواند در یک باکتری وجود داشته باشد (Machado & Serralheiro., 2017). علاوه‌براین، تولید سیانیدهیدروژن توسط باکتری‌ها که گمان می‌شد صرفا با محدود نمودن عوامل بیماری‌زا باعث رشد گیاه می‌شود می‌تواند باعث افزایش غیرمستقیم فراهمی فسفر از طریق کلات با عناصر فلزی ترکیب شده با فسفر و رهاسازی فسفر در ریزوسفر گردد (Rijavec & Lapanje, 2016). در پژوهش حاضر، هر سه باکتری مورد استفاده باعث افزایش معنی‌دار میزان فسفر برگ در سطوح تنش شوری شدند. در این بین، باکتری *Z. halotolerans* که ضمن داشتن بیشترین توان انحلال فسفات از حداکثر مقدار تولید سیانیدهیدروژن هم برخوردار بود باعث بیشترین افزایش فسفر برگ گردید (جدول ۳). افزایش فسفر برگ گندم در تنش شوری در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Wang et al., 2016; Alikhani et al., 2018; Wang et al., 2020; Upadhyay & Sinngh, 2015). علاوه‌بر فراهمی فسفر محلول قابل جذب در محیط ریزوسفر، رشد ریشه‌ها نیز در جذب فسفر به گیاه نقش داشته (Iqbal Hussain et al., 2013) که همبستگی مثبت میزان فسفر برگ با وزن ریشه در پژوهش حاضر (نتایج نشان داده نشده است)، موید این رابطه است. باکتری‌های حل کننده فسفات از جنس‌های *Bacillus*، *Pseudomonas*، *Achromobacter*، *Alcaligenes*، *Brevibacterium*، *Xanthomonas*، *Serratia* و *Corynebacterium* معرفی شده‌اند (Sindhu et al., 2010) که از جمله نتایج پژوهش حاضر، معرفی باکتری *Z. halotolerans* با توان انحلال بالا از طریق به‌کارگیری دو سازوکار تولید سیانیدهیدروژن و ترشح اسیدهای آلی است.

میزان کلسیم برگ گندم رقم قدس با افزایش شوری کاهش یافت. کلسیم دارای نقش حیاتی در حفظ یکپارچگی و عملکرد غشاء و دیواره سلولی گیاهان از طریق تشکیل پیوندهای بین مولکولی، فعال نمودن برخی آنزیم‌ها و هماهنگی بین بعضی فعالیت‌های سلولی بوده (Tuna et al., 2007) و کمبود آن در گیاه، شاخص عمومی سمیت سدیم است (Davenport et al., 1997). در شرایط تنش شوری، سدیم از طریق ممانعت از انتقال کلسیم توسط ریشه‌ها و اشغال مکان‌های اتصال کلسیم در غشاهای پلاسمایی از میزان کلسیم برگ گیاه می‌کاهد (Hadi & Karimi, 1988; Lynch & Lauchli, 2012). غلظت مناسب کلسیم در برگ در شرایط تنش شوری از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که کلسیم به‌عنوان یک پیام‌رسان ثانویه در

شرایط تنش شوری عمل نموده که ضمن فعال نمودن مکانیسم‌های هشداری در مورد کمبود سایر عناصر مغذی در گیاه تحت تنش شوری، باعث خروج سدیم از طریق ناقل H^+/Na^+ موجود در غشای پلاسمایی سلول موسوم به SOS1 (Salt Overly Sensitive) می‌شود (Kudla et al., 2018; Seifikalhor et al., 2019). در پژوهش حاضر، میزان کلسیم برگ گندم رقم قدس در تیمارهای تنش شوری تلقیحی با هر سه باکتری افزایش یافت که مشابه نتیجه مطالعات دیگر (Nawazet al., 2017; Singh & Jha, 2020) درباره تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش کلسیم برگ گندم تحت تنش شوری است. از آنجا که در شرایط شوری، کلسیم و فسفر می‌توانند در پیوندهای شیمیایی با یکدیگر تثبیت شوند (Sashidhar & Podile, 2010) افزایش میزان کلسیم برگ در این پژوهش ممکن است ناشی از اثر اسیدهای آلی مترشحه از باکتری‌ها و آزادسازی یون کلسیم از ترکیب با عناصری چون فسفر باشد. تاثیر مشابه دو باکتری *Z. halotolerans* و *B. pumilus* در افزایش میزان کلسیم و فسفر برگ و نزدیکی زیاد مقادیر انحلال فسفات و تولید سیانید-هیدروژن دو باکتری می‌تواند موید این اثر باشد.

بیشینه کاهش سدیم و افزایش پتاسیم، پتاسیم به سدیم و کلسیم متاثر از باکتری، در شوری‌های ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. مطالعات مقایسه عملکرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش و غیر تنش نشان داده که فعالیت آنها غالبا در شرایط تنش بیشتر می‌شود (Rubin et al., 2017). نمونه تحقیقات قبلی درباره گندم تحت تنش شوری نیز نشانگر حداکثر کاهش سدیم و افزایش پتاسیم و کلسیم برگ در شوری ۲۰۰ میلی‌مول نسبت به شوری‌های ۱۷۵ و ۱۵۰ (Singh & Jha, 2017) و مشابه نتیجه این پژوهش است.

با افزایش سطوح شوری، طول ساقه، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی و بیومس کل کاهش داشت. از نخستین آثار تنش اسمزی، کاهش فشار تورگر سلولی بوده که در سطح میکروسکوپی منجر به کاهش توسعه و اندازه سلولهای ساقه و ریشه و در نتیجه کوتاهی آن می‌شود (Mosleh Arani et al., 2018). در مقابله با این پدیده، گیاه با کمک باکتری‌های محرک رشد، فشار اسمزی خود را با جذب یون‌های معدنی به‌ویژه پتاسیم تنظیم نموده و رشد خود را هر چند با سرعت کمتری ادامه می‌دهد (Byrt et al., 2018). در پژوهش حاضر، میزان رشد طولی ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه و بیومس کل تیمارهای تلقیحی 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; Safdarian et al., 2019) است. نکته قابل توجه اینکه روند افزایش شوری به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نه تنها نتوانست کاهش معنی‌دار در شاخص‌های مذکور در تیمارهای باکتری *B.pumilus* و *B. safensis* نسبت به شاهد ایجاد نماید بلکه دو باکتری مذکور حتی باعث افزایش شاخص‌های رشد در برخی سطوح شوری (افزایش وزن ساقه در شوری ۴ و وزن ریشه در شوری‌های ۴ و ۸ دسی‌زیمنس نسبت به شوری شاهد توسط باکتری *B. safensis*) نسبت به شاهد شدند. این افزایش می‌تواند به بیشتر شدن فعالیت باکتری‌های محرک رشد مقاوم به شوری در شرایط تنش شوری (Rubin et al., 2017) از لحاظ تولید هورمون‌های محرک رشد و نیز افزایش غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم مورد بررسی توسط این باکتری‌ها در این سطوح شوری مربوط باشد. افزایش وزن ساقه و ریشه در شوری‌های مذکور می‌تواند مربوط به تحریک گیاه و بیش از آن باکتری *B. safensis* در سطوح شوری ۴ و ۸ بر مبنای مفهوم «واکنش متناسب به مقدار» (Hormetic Dose–Response Relationship) باشد (Agathokleous et al., 2019). بر مبنای این اصل، مقادیر کم از عامل تنش اثر محرک و مقادیر زیاد، اثر بازدارندگی بر فعالیت موجود زنده دارد.

افزایش وزن خشک بخش هوایی و ریشه در این آزمایش را می‌توان از جمله نتایج عملکرد باکتری‌ها در بهبود کارآیی فتوسنتز قلمداد نمود. کاهش کارآیی فتوسنتز، یک دلیل مهم برای ممانعت از رشد گیاه بوده که در شوری بالا رخ می‌دهد (Ehghaghi et al., 2015; Bose et al., 2017). تنش اسمزی، باعث افت فشار سلول‌های محافظ روزنه‌ها و بسته شدن سریع آن‌ها شده که منجر به کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز می‌شود. تجمع یون پتاسیم در سلول‌های محافظ، نقش اصلی را در ایجاد تعادل اسمزی و جذب آب و افزایش تورم و باز شدن روزنه‌ها دارد. علاوه‌براین، نقش پتاسیم در فعالیت آنزیمی و تولید ATP در تنظیم سرعت فتوسنتز مهمتر از نقش آن در فعالیت روزنه‌ای است. وقتی انرژی خورشیدی به ترکیب CO_2 و H_2O و در نتیجه تشکیل قند منجر می شود، اولین محصول پر انرژی ATP است که به‌عنوان منبع انرژی در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی مصرف می‌شود. بار الکتریکی لازم برای تولید ATP با یون K^+ تامین می‌شود. با کاهش میزان K در اثر شوری، میزان فتوسنتز و تولید ATP نیز کم شده و همه فرایندهای وابسته به ATP کاهش می‌یابد. درمقابل، تنفس سلولی افزایش یافته که باعث کاهش رشدونمو گیاه می‌شود (Wu et al., 2018). بنابراین باکتری‌های مورد بررسی با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم و از سوی دیگر تامین آهن مورد نیاز در ساخت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

کلروفیل، باعث افزایش محتوا و کارآیی فتوسنتز و در نتیجه افزایش شاخص‌های رشد مورفولوژیکی مورد بررسی شدند.

افزایش کلسیم برگ توسط باکتری‌ها نیز باعث افزایش طول و رشد ساقه گردید. پکتین، بیشترین کمپلکس پلی‌ساکاریدی ساختاری و عملکردی در دیواره سلولی بوده که در ساختار خود از یون کلسیم به‌عنوان پیوند بین سلولی استفاده می‌کند. در شرایط شوری، سدیم جمع شده در فضای بین سلولی با قرارگیری به‌جای کلسیم، باعث کاهش گسترش سلول و در نتیجه کاهش رشد و بیومس گیاه می‌شود (Bose et al., 2017).

هورمون اکسین (ایندول-۳- استیک اسید) تولیدی توسط باکتری‌ها از نقش مستقیم در افزایش رشد اعم از ریشه و بخش هوایی گندم رقم قدس برخوردار بود. این هورمون، اثرات قوی بر رشد ریشه (2015 ,Jha & Saraf) و ساختار آن به لحاظ گسترش تعداد و طول ریشه‌های فرعی (Vacheron et al., 2013) داشته که منجر به افزایش جذب مواد مغذی از ریزوسفر می‌شود. اکسین همچنین بر تقسیم، تمایز و طویل شدن سلول، افزایش جریان شیره خام، تشکیل رنگدانه‌های گیاهی و فتوسنتز و مقاومت به تنش‌های محیطی تاثیر دارد (Glick, 2012). بر اساس نتایج این تحقیق، بیشترین میزان افزایش وزن بخش هوایی و ریشه مربوط به باکتری *Bacillus safensis* بوده که دارای بیشترین میزان توان تولید اکسین است. نتایج مشابهی از تاثیر اکسین تولیدی باکتری‌های محرک رشد بر افزایش وزن بخش هوایی و ریشه گندم تحت تنش شوری در مطالعات دیگر گزارش شده است (Ilyas et al., 2019; 2020 ,Safdarian et al.).

یکی از عوامل کاهش رشد گندم، افزایش میزان هورمون اتیلن و تجمع آن در ریشه است. مطالعات نشان می‌دهد تنش شوری با افزایش اتیلن موجب کاهش رشد ریشه‌های گندم شده و کاربرد باکتری‌های محرک رشد با افزایش رشد ریشه گیاه و فراهم نمودن ریزمغذی‌ها از طریق سیدروفور و تولید ACC- دآمیناز اثر اتیلن را کاهش داد (Sadat et al., 2010). نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک ساقه با افزایش شوری کاهش یافت که این کاهش می‌تواند ناشی از تجمع اتیلن در ریشه باشد (Sadat et al., 2010). در مقابل، باکتری‌های مورد بررسی و به ویژه *B. safensis* با تولید اکسین و ACCدآمیناز باعث افزایش نسبت ریشه به ساقه شدند. به‌نظر می‌رسد برای گیاه در شرایط تنش شوری، تامین آب و یون‌ها چه به‌عنوان ماده مغذی و چه به‌عنوان تنظیم اسمزی و تعادل یونی نسبت به افزایش بخش هوایی و تبدیل کربن طی فتوسنتز از اولویت برخوردار است (2012 ,Hu et al.). طول ساقه گندم در تیمارهای باکتری *B. pumilus* بیش از سایر باکتری‌ها بود. با توجه به اینکه یکی از آثار بارز اتیلن در شرایط تنش، کاستن از طول ریشه و ساقه بوده (Eskandari 2017 ,Torbaghan et al.) و نقش پذیرفته شده‌ACCدآمیناز در افزایش طول ساقه و ریشه (Glick, 2014)، لذا افزایش طول ساقه توسط این باکتری را می‌توان به برتری آن در تولید ACCدآمیناز نسبت به دو باکتری دیگر و در نتیجه خنثی نمودن اثر کاهنده اتیلن دانست. مطالعه نقش باکتری‌های ریزوبیوم تولید کننده ACCدآمیناز نیز نشانگر افزایش طول ساقه، ریشه و وزن خشک ریشه و ساقه تیمارهای تلقیحی گندم با باکتری نسبت به شاهد بود (Souza et al., 2015). در بین صفات محرک رشد باکتریایی، هورمون ACC دآمیناز نقش کلیدی در تسهیل رشد گیاهی در شرایط تنش دارد بدین‌صورت که در پاسخ به تنش از جمله شوری و زیاد شدن 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 تولیدACC دآمیناز باشد این مقدار ACC اضافی ناشی از اکسین را خنثی نموده که در غیر این‌صورت به اتیلن تبدیل و موجب کاهش رشد گیاه می‌شود. بنابراین، باکتری‌های دارای توان تولید مشترک اکسین وACC دآمیناز از عملکرد بهینه در افزایش رشد گیاهی در شرایط تنش برخوردار هستند (Glick, 2014). بر این اساس، برتری باکتری *B. safensis* در افزایش وزن خشک بخش هوایی و ریشه را می‌توان ناشی از بیشتر بودن توان تولید اکسین آن نسبت به دو باکتری دیگر در کنار داشتن توان تولیدACC دآمیناز دانست. نتایج این مطالعه نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاهان مرتعی شورپسند می‌توانند در بهبود شاخص‌های رشد گیاه گندم در شرایط شوری نقش داشته باشند. این نتایج همچنین نشان داد که ریزوسفر گیاهان مرتعی شورپسند می‌تواند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری جهت بهبود مقاومت گیاه گندم به شوری باشد. با توجه به نتایج مثبت به دست آمده در این آزمایش، مطالعات بیشتر در شرایط مزرعه‌ای جهت استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه متحمل به شوری جداسازی شده از گیاه مرتعی شورپسند به عنوان کود زیستی برای بهبود شاخص‌های رشد گیاه، کاهش اثرات تنش شوری و افزایش عملکرد گندم پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مساعدت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد و مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد در انجام این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

REFERENCES

Agathokleous, E., Belz, E., Kitao, R.G., Koike, T. & Calabrese, E. 2019. Does the root to shoot ratio show a hormetic response to stress? An ecological and environmental perspective. Journal of Forestry Research 30: 1569-1580.

Akbari, A., Gharanjik, S., Koobaz, P. & Sadeghi, A. 2020. Plant growth promoting Streptomyces strains are selectively interacting with the wheat cultivars especially in saline conditions. Heliyon Journal 6: 34-45.

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).

Al-Karaki, G.N. 2000. Growth, sodium and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. Journal of Plant Nutrition 23: 369-379.

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.

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. Cotoxicology and Environmental Safety Available from: https://europepmc.org/article/med/31408821 [accessed 13 October 2019].

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.

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.

Bose, J., Munns, R., Shabala, S., Gilliham, M., Pogson, B. & Tyerman, S.D. 2017. Chloroplast function and ion regulation in plants growing on saline soils: lessons from halophytes. Journal of Experimental Botany 68: 3129-3143.

Byrt, C.S., Munns, R., Burton, R.A., Gilliham, M. & Wege, S. 2018. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. Plant Science 269:47-55.

Davenport, R.J., Reid, R.J. & Smith, F.A. 1997. Sodium-calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. Physiologia Plantarum 99: 323-327.

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

Ehghaghi, R., Mosleh Arani, A., Azimzadeh, H., Zargaran, M. & Kiani, B. 2015. Investigation of some ecological characteristics of four *Calligonum* species in Yazd province. Iranian Journal of Range and Desert Research 22: 168-182.

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. & Beattie, G.A. 2018. Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. Frontiers in Microbiology 9: 148-156.

Etesami, H., Emami, S. & Alikhani, H.A. 2017. Potassium solubilizing bacteria (KSB): mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects: A review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 17: 897-911.

Eskandari Torbaghan, M., Lakzian, A., Astaraei, A.R., Fotovat, A. & Besharati, H. 2017. Measurement of ACC-Deaminase production in halophilic, alkalophilic and haloalkalophilic bacterial isolates in soil. International Biological and Biomedical Journal 3: 194-202.

Ghahremaninejad, F., Hoseini, E. & Jalali, S. 2021. The cultivation and domestication of wheat and barley in Iran, brief review of a long history. Botanical Review 87: 1-22. https://doi.org/10.1007/s12229-020-09244-w.

Ghassemi, F., Jakeman, A.J. & Nix, H.A. 1995. Salinization of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Wallingford: CABI Publishing, 526 pp.

Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. Hindawi Publishing Corporation Scientifica, 15 pp.

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

Goswami, M., & Deka, S. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria|alleviators of abioticstresses in soil: A review. Pedosphere 30: 40-61.

Haddadi M. & Ghezelbash, G.R. 2020. Isolation of halophilic urease producing bacteria and study of their nanocrystal production. Nova Biologica Reperta 7: 37-45. (In Persian).

Hadi, M.R. & Karimi, N. 2012. The role of calcium in plants' salt tolerance. Journal of Plant Nutrition 35: 2037-2054.

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

Hu, L., Zehui, H., Shuqian, L. & Fu, J. 2012. Growth response and gene expression in antioxidant-related

enzymes in two bermudagrass genotypes differing in salt tolerance. Journal of the American Society for Horticultural Science 137: 134-143.

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.

Iqbal Hussain, M. Naeem Asghar, H., Javed Akhtar, M. & Arshad, M. 2013. Impact of phosphate solubilizing bacteria on growth and yield of maize. Soil & Environment 32: 71-78.

Jha, C.K. & Saraf, M. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. Journal of Agricultural Research and Development 5: 108-119.

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.

Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M. & Foolad, M.R. 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. Critical Reviews in Plant Sciences 30: 435-458.

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.

Kouhifayegh, S.H., Hakimi, M.H., Mosleh Arani, A., Mirshamsi, H.A. and Kiani, B. 2014. The effects of sodium nitroproside and salicylic acid on some physiological characteristis of *Melia azedarach* under salinity conditions. Arid Biom Scientific and Research Journal 3: 62-71.

Kudla, J., Becker, D., Grill, E., Hedrich, R., Hippler, M. & Kummer, U. 2018. Advances and current challenges in calcium signaling. New Phytology 218: 414-431.

Kumar, A. & Verma, J.P. 2018. Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review? Microbiology Research 207: 41-52.

Lynch, J. & Lauchli, A. 1988. Salinity affects intracellular calcium in corn root protoplasts. Plant Physiology 87: 351-356.

Machado, R.M.A. & Serralheiro, R.P. 2017. Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. Horticulturae 3: 30-38.

Maksimovic, I. & Ilin, Z. 2012. Effects of salinity on vegetable growth and nutrients uptake. *In*: Lee, T.S. (ed.), Irrigation systems and practices in challenging environments. pp: 169-190. London, UK, IntechOpen

Mohajel Kazemi, E., Pazhouhandeh, M., Jonoubi, P. & Kazemian, M. 2020. The optimization of gene transfer to tomato and the study of expression possibility of salt-tolerance gene (SOS3). Nova Biologica Reperta 7: 76-84. (In Persian).

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).

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: 1-12. (In Persian).

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 Environmental Sustainability 7: 212-214.

Munns, R., Day, D.A. and Fricke, W. 2020. Energy costs of salt tolerance in crop plants. New Phytologist 225: 1072-1090.

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.

Olsen, S.R., & Sommers, L.E. 1982. Phosphorous. *In*: Methods of soil analisis. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp: 423-424.

Qi, Z. & Spalding, E.P. 2004. Protection of plasma membrane K^+ transport by the salt overly sensitive Na^+/H^+ antiporter during salinity stress. Plant Physiology 136: 2548-2555.

Razzaghi Komaresofla, B., Alikhani, H.A., Etesami, H. & Khoshkholgh-Sima, N.A. 2019. Improved growth and salinity tolerance of the halophyte Salicornia sp. by co–inoculation with endophytic and rhizosphere bacteria. Applied Soil Ecology 138: 160-170.

Rijavec, T. & Lapanje, A. 2016. Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens, but rather regulating availability of phosphate. Frontiers in Microbiology 7: 1785-1794.

Rubin, R.L., Van Groenigen, K.J. & Hungate, B.A. 2017. Plant growth promoting rhizobacteria are more effective under drought: A meta-analysis. Plant Soil 416: 309-323.

Rubio, F., Nieves-Cordones, M., Horie, T. & Shabala, S. 2020. Doing 'business as usual' comes with a cost: evaluating energy cost of maintaining plant intracellular K^+ homeostasis under saline conditions. New Phytologist 225: 1097-1104.

Safdarian, M., Askari, H. & Shariati, J. 2019. Transcriptional responses of wheat roots inoculated with *Arthrobacter nitroguajacolicus* to salt stress. Scientific Reports 9: 1792-1799.

Sashidhar, B. & Podile, A.R. 2010. Mineral phosphate solubilization by rhizosphere bacteria and scope for manipulation of the direct oxidation pathway involving glucose dehydrogenase. Journal of Applied Microbiology 109: 1-12.

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.

Seed and Plant Research Improvement Institute. 2016. Crop cultivars report (food security and health-

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]

1). Agricultural research, education and extension organization. Press, Tehran, 231 pp. (In Persian).

Sadat, a.a.V. & Savaghebi Firouzabadi, G.R. 2010. Effects of some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria on the growth and yield indices of two Wheat varieties in a saline soil. Journal of Water and soil Agricultural Science and Technology 24: 53-62.

Seifikalhor, M., Aliniaeifard, S., Shomali, A., Azad, N., Hassani, B., Lastochkina, O. & Li, T. 2019. Calcium signaling and salt tolerance are diversely entwined in plants. Plant Signaling & Behavior 14: 11-20.

Shahidi, A., & miri, Z. 2018. The effect of salinity on yield and yield components of two wheat cultivars in the plain of Birjand. Electronic Journal of Crop Production 11: 51-61. (In Persian).

Shahriaripour, R, Pour, A.T. & Mozaffari, V. 2011. Effects of salinity and soil phosphorus application on growth and chemical composition of pistachio seedlings. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42: 144-158.

Shi-Ying, Z., Cong, F., Yong-xia, W., Yun-sheng, X., Wei, X. & Xiao-Long, C. 2018. Salt-tolerant and plant growth-promoting bacteria isolated from high-yield paddy soil. Canadian Journal of Microbiology 64: 968-978.

Sindhu, S.S., Dua, S., Verma, M.K. & Khandelwal, A. 2010. Growth promotion of legumes by inoculation of rhizosphere bacteria. *In*: Khan, M.S. et al. (eds.), Microbes for legume improvement. pp: 195-235. Springer-Verlag, Wien.

Singh, R.P & Jha, P.N. 2017. The PGPR Stenotrophomonas maltophilia SBP-9 augments resistance against biotic and abiotic stress in Wheat plants. Frontiers in Microbiology 8: 1945-1953.

Souza, R.D., Ambrosini, A. & Passaglia, L.M.P. 2015. Plant growth promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. Genetics and Molecular Biology 38: 401-419.

Szymańska, S., Płociniczak, T., Piotrowska-Seget, Z. & Hrynkiewicz, K. 2016. Endophytic and rhizosphere bacteria associated with the roots of the halophyte *Salicornia europaea* L. – community structure and metabolic potential. Microbiological Research 192: 37-51.

Tuna, A.L., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I. & Yagmur, B. 2007. The effects of calcium sulfate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. Environmental and Experimental Botany 59: 173-178.

Legendre, L., Wisniewski-Dyé, F. & Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth-promoting

Upadhyay, S.K. & Singh, D.P. 2015. Effect of salt tolerant plant growth promoting rhizobacteria on Wheat plants and soil health in a saline environment. Plant Biology 17: 288-293.

Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., rhizobacteria and root system functioning. Frontiers in Plant Science 4: 1-19.

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. & Van der lee, J.J. 1980. Soil and plant analysis Wageningen Agriculture University, 123 pp.

Wang, J., Li, R. & Zhang, H. 2020. Beneficial bacteria activate nutrients and promote wheat growth under conditions of reduced fertilizer application. BMC Microbiology 20: 38-48.

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.

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.

World Bank. 2019. World population prospects 2019: Highlights. United Nations, 39 pp.

Wu, H.H., Zhang, X.C., Giraldo, J.P. & Shabala, S. 2018. It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. Plant Soil 431: 1-17.

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.

*****

How to cite this article:

Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Hadi Rad, M., Shabazi Manshadi, Sh. & Etesami, H. 2020. The effect of plant growth promoting potentials of rhizosphere bacteria isolated from several halophytic species on vegetative growth and ionic content of wheat. Nova Biologica Reperta 8: 104-117. (In Persian).

امینی حاجی‌آبادی، ع.، مصلح آرانی، ا.، قاسمی، س.، هادی راد، م.، شهبازی منشادی، ش و اعتصامی، ح. ۱۴۰۰. اثر پتانسیل‌های محرک رشد گیاه باکتری‌های ریزوسفری جداسازی شده از چند گونه گیاه مرتعی شورپسند بر رشد رویشی و محتوی یونی گندم. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۸: ۱۱۷-۱۰۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.2.7.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.2.104]