Research Article

Agricultural Engineering., 48(2) (2025) 267- 282 ISSN (E): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2025.48847.1763 ISSN (P): 2588-5944

Isolation of Salt-Tolerant Bacteria from The Rhizosphere of Desert Plants and Their Effects on Maize (*Zea mays L.*) Growth in a Saline Soil

Y.Z. Mazidi Moradi [1], M. Abolhasani Zeraatkar [2]*and M. Sarcheshmeh pour [3]

1. M.Sc Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Received: 22 January 2025 Accepted: 17 April 2025 *Corresponding Author: m.abolhasani@uk.ac.ir

Abstract

Introduction: Abiotic stresses are the most important limiting factors affecting agricultural productivity. Soil salinity is considered one of the most severe abiotic stresses in plants. Crop plants rely on biological mechanisms to withstand unfavorable environmental conditions. Failure to do so can hinder their growth, development, and yield. The plant microbiome plays a fundamental role in supporting plants by aiding nutrient absorption, enhancing disease resistance, and improving tolerance to abiotic stresses. Its metabolic and genetic potential equips plants to combat unfavorable environmental conditions. Consequently, utilizing salt-tolerant halophyte rhizosphere bacteria presents an effective strategy for enhancing plant growth in saline soils.

Materials and methods: This research aimed to isolate indigenous bacteria resistant to salinity stress from the rhizosphere of desert plants in Kerman Province and evaluate their effects on selected morphological and biochemical characteristics of maize plants grown under salt stress conditions. First, rhizosphere bacteria from desert trees were isolated and purified. Their growth was then examined at varying sodium chloride concentrations (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, and 650 mM) in solid microbial culture media. Subsequently, quantitative testing was conducted in liquid microbial culture media supplemented with different sodium chloride concentrations (0, 320, 650, and 850 mM).
Four bacterial strains (BZ79, BR90, BG59, and BG71) were selected for the greenhouse study. The experiment, conducted on maize plants, followed a completely randomized factorial design with three replications, including four salt-tolerant strains and a control. Two soil salinity levels were tested: non-saline soil (1.32 dS/m) and saline soil (12 dS/m). Over 90 days, measurements were taken of fresh and dry shoot and root weight, shoot and root length, and the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids in maize plants under both saline and non-saline conditions.

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Results and discussion: The statistical analysis revealed significant differences in salt tolerance among the bacterial strains, with some demonstrating the ability to withstand high sodium chloride concentrations (up to 850 mM) and maintain robust growth. Salt stress induces osmotic imbalance, ionic disruption, and oxidative damage in maize plants, ultimately reducing their growth and photosynthetic efficiency. Results indicated that saline soil led to reductions in several key plant parameters compared to non-saline soil, including dry shoot matter (51.4%), fresh shoot weight (24.4%), fresh root weight (15.9%), shoot length (7.8%), chlorophyll a content (64.2%), chlorophyll b content (115%), and carotenoid content (3%). However, inoculation with salt-tolerant bacteria significantly improved dry matter accumulation, fresh shoot and root weight, shoot and root length, and concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids in both saline and non-saline soils. These enhancements were more pronounced in saline soil. Compared to uninoculated plants (B0), bacterial strains BZ79, BR90, BG59, and BG71 increased shoot dry weight in non-saline soil by 20%, 12.3%, 13%, and 3%, respectively, while in saline soil, the increases were 62.2%, 39.5%, 59%, and 41.4%, respectively. Inoculation with BZ79, BG59, and BG71 in saline soil improved chlorophyll a concentration by 1.7%, 1.9%, and 2.4%, respectively, and enhanced chlorophyll b levels by 2.6%, 1.7%, and 1.8%, respectively. Notably, strain BR90 did not increase chlorophyll a content, but both BR90 and BG59 resulted in a three-fold increase in carotenoid content compared to uninoculated plants in saline soil.

Conclusion: Among the indigenous rhizosphere bacteria, BZ79 was the most effective in enhancing maize plant tolerance to salt stress. These findings highlight the potential of these salt-tolerant bacteria as a valuable tool for mitigating salt stress damage by improving the physiological performance and photosynthetic pigment levels of maize plants. Given their beneficial effects under saline soil conditions, these microorganisms could be strong candidates for future biofertilizer development.

Keywords: Abiotic stresses, Photosynthesis, carotenoid, chlorophyll, biofertilizer

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۸. شماره ۲، ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

جداسازی باکتری‌های مقاوم به نمک از ریزوسفر گیاهان بیابانی و تأثیر آن‌ها بر رشد گیاه ذرت (*Zea mays L.*) در یک خاک شور

یاسمین زهرا مزیدی مرادی[۱]، محبوبه ابوالحسنی زراعتکار[۲*] و مهدی سرچشمه پور[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشدگروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۳

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸

کلمات کلیدی:

تنش غیرزیستی،

فتوسنتز،

کاروتنوئید،

کلروفیل،

کود زیستی

* عهده دار مکاتبات

Email: m.abolhasani@uk.ac.ir

چکیده

استفاده از باکتری‌های ریزوسفری مقاوم به شوری یک راهبرد موثر برای بهبود رشد گیاهان در خاک‌های شور می‌باشد. این مطالعه با هدف جداسازی باکتری‌های بومی مقاوم به شوری از ریزوسفر گیاهان بیابانی استان کرمان و تأثیر کاربرد آن‌ها بر برخی از خصوصیات مورفولوژی و بیوشیمیایی گیاه ذرت در شرایط تنش شوری انجام شد. در این مطالعه ابتدا از ریزوسفر گیاهان بیابانی باکتری‌ها جداسازی و خالص‌سازی شدند. سپس رشد باکتری‌ها در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۰، ۳۲۰، ٦٥٠ و ۸٥٠ میلی‌مولار) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین آزمون گلخانه‌ای در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل ٤ سویه باکتری (BZ79، BR90، BG59، BG71 و B0 (شاهد بدون باکتری)) و دو خاک غیرشور (۱/۳۲ dS/m) و شور (۱۲ dS/m) در سه تکرار روی گیاه ذرت انجام شد. در پایان دوره پارامترهای مورفولوژی و بیوشیمیایی گیاه ذرت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که باکتری‌ها از نظر مقاومت به شوری با هم تفاوت معنی‌داری داشتند و برخی از باکتری‌ها توانایی تحمل غلظت‌های بالای کلرید سدیم تا ۸٥٠ میلی‌مولار را نیز داشتند. بر اساس نتایج گلخانه در خاک شور، وزن خشک اندام هوایی (٥۱/٤ درصد)، میزان کلروفیل a (٦٤/۲ درصد)، کلروفیل b (۱۱٥ درصد) و کاروتنوئید (۳ درصد) کاهش یافت. در خاک شور کاربرد باکتری‌های BZ79، BR90، BG59 و BG71 وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب ٦۲/۲، ۳۹/٥، ٥۹ و ٤۱/٤ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح باکتری افزایش داد. تلقیح گیاه ذرت با باکتری‌های BZ79، BG59 و BG71 در خاک شور غلظت کلروفیل a را به ترتیب ۱/۷، ۱/۹ و ۲/٤ برابر و غلظت کلروفیل b را به ترتیب ۲/٦، ۱/۷ و ۱/۸ برابر نسبت به شاهد افزایش داد وکاربرد دو باکتری BR90 وBG59 توانست میزان کاروتنوئید را بیش از سه برابر نسبت به شاهد افزایش دهد. با توجه به تاثیر مفید باکتری‌های بومی مقاوم در شرایط شوری خاک، این میکروارگانیسم‌ها پتانسیل کاندید شدن به عنوان کود زیستی را در آینده خواهند داشت.

مقدمه

شوری خاک حداقل ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار داده است (۲۶) و برآورد شده است که ۵۰ درصد از زمین‌های کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ شور شوند (۱۶). به دلیل اثرات نامطلوب شوری خاک، بهره‌وری محصول سالانه کاهش می‌یابد. فناوری تولید گیاهان تراریخته و کاربردهای اصلاح مولکولی برای تولید گیاهان مقاوم به شوری چندان موفقیت آمیز نبوده است (۱۵ و ۴۱). استفاده از برخی از ترکیبات از جمله هورمون‌های گیاهی (۲۲)، تریاکونتانول (۲۳) و پلی‌آمین‌ها (۳۰) در افزایش تحمل به شوری در گیاهان زراعی مفید گزارش شده‌اند. بر اساس مطالعات اخیر برخی از میکروارگانیسم‌های خاک (باکتری‌ها و قارچ‌ها) کاهش تنش شوری در گیاهان می‌شوند (۱۸). باکتری‌های خاک مکانیسم‌های پاسخ کاهش تنش را به گیاهان القا می‌کنند تا گیاهان بتوانند در شرایط تنش حفظ شوند. باکتری‌های ریزوسفری و گیاهان برای رشد و بقای خود درک متقابل داشته و با تولید متابولیت‌ها از یک طرف باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه و از طرف دیگر باعث محافظت از گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا می‌شوند (۱۷ و ۱۹). باکتری‌های مفید ریزوسفری در شرایط محیطی نامطلوب از جمله خشکسالی، تنش شوری و دماهای بالا می‌توانند با تولید متابولیت‌های خاص در محیط‌های سخت سازگاری یافته و زنده بمانند (۳۳) و این امر باعث شده که باکتری‌های مفید ریزوسفری به گزینه‌های قابل دوام و حیاتی برای کاهش تنش غیرزیستی در گیاهان زراعی تبدیل شوند (۲۰). از طرفی شواهد حاصل از شیوه‌های کشاورزی اخیر نشان می‌دهد که باکتری‌های مفید ریزوسفری نه تنها به کاهش تنش‌های محیطی کمک می‌کند، بلکه عملکرد گیاهان مختلف از جمله برنج، ذرت و جو را نیز افزایش می‌دهند (۳۶، ۳۸ و ۴۰).

هر کدام از سویه‌های باکتری دارای ژن‌های مختلفی هستند که باعث راه‌کارهای محافظتی متفاوتی در گیاه در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند (۳۵). از جمله برخی از این باکتری‌ها باعث افزایش تولید اسمولیت‌ها توسط گیاه از جمله بتائین، پرولین، و ترهالوز می‌شوند (۳۵). همچنین وجود این باکتری‌ها موجب ساخت آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌شود که برای از بین‌بردن گونه‌های فعال اکسیژن کاربرد دارند (۳۵). پژوهشگران با آنالیز کل ژنوم سویه ZB201705 از باکتری *Brevibacterium frigoritolerans* جداشده از ریزوسفر گیاه ذرت که تحت تنش کم‌آبی و شوری بود، نشان دادند که این سویه قادر به ساخت بسیاری از پروتئین‌های شناخته‌شده مسئول پاسخ سلولی به تنش کم‌آبی و شوری است (۴۴).

از طرفی تلقیح باکتری‌ها و متابولیت‌های آن‌ها در خاک‌های تحت تنش غیرزیستی می‌تواند انتقال عناصر غذایی و آب، فتوسنتز، تنظیم کننده‌های رشد، آنتی اکسیدان‌ها، املاح سازگار، ژن‌ها و پروتئین‌های مسئول کاهش تنش در گیاهان را تنظیم کند تا جوانه‌زنی، رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش افزایش یابد (۲۹). در مطالعه‌ای که نشان‌دهنده‌ی نقش PGPRها در کاهش تنش شوری بود مشاهده شد که در شرایط تنش شوری تلقیح گیاهان ذرت با باکتری‌های *Azospirillum lipoferum* و *Azotobacter chroococcum* سبب افزایش پارامترهای رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، K^+، اسمولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو می‌شود (۲۵). در پژوهشی دیگر پژوهشگران دوازده ریزوباکتری محرک رشد گیاه (PGPR) مقاوم به کم‌آبی و دارای توانایی تولید ACC-دآمیناز و اگزوپلی‌ساکارید را از مناطق دیم جداسازی کردند و شاهد افزایش مقاومت به کم‌آبی گیاه ذرت با تلقیح این سویه‌ها بودند (۲۸). محققان دیگر نیز گزارش داده‌اند که تلقیح گیاه ذرت با باکتری باسیلوس

جداسازی شده از مناطق شور به طور معنی‌داری پارامترهای رشدی گیاه را در شرایط تنش شوری افزایش داد (۴۳).

استفاده از باکتری‌های مفید به عنوان کودهای زیستی برای افزایش عملکرد و رشد و نمو گیاهان در شرایط خشکسالی روشی کم هزینه و قابل قبول از نظر زیست محیطی معرفی شده است که منجر به کشاورزی پایدار می‌شود (۳۴)، براساس مطالعات انجام شده گیاهان بومی در مناطق خشک و شور دارای میکروبیوتای خاص خود می‌باشند و انتخاب سویه‌های باکتریایی از محیط‌های بومی ممکن است به دستیابی سویه‌های باکتریایی منجر شود که ضمن مقاومت به تنش‌های غیرزیستی از بقا و ماندگاری طولانی‌تری هم در مزارع خاک‌های آن منطقه برخوردار باشند (۴). بنابراین باکتری‌های ریزوسفر گیاهان بومی ممکن است پتانسیل خوبی برای تهیه کودهای زیستی مؤثر در یک منطقه را داشته باشند. به همین منظور در این پژوهش به جداسازی و غربالگری باکتری‌های بومی مقاوم به شوری از ریزوسفر گیاهان بیابانی بومی مناطق خشک و شور استان کرمان و تأثیر کاربرد آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش شوری پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری

در این پژوهش از خاک ریزوسفری گیاهان بیابانی تاغ، گز و درمنه رشد یافته در بیابان‌های استان کرمان (شهرستان‌های زرند، جوپار، ماهان و رفسنجان) ۴۵ نمونه مرکب تهیه شد. pH در گل اشباع و هدایت الکتریکی (ECe) در عصاره گل اشباع نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. برای جداسازی باکتری از سری‌های رقت دهدهی خاک بر روی بر روی محیط نوترینت آگار کشت و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور نگهداری شدند. کلنی‌های با مورفولوژی متفاوت برداشته و روی محیط کشت نوترینت آگار تازه به روش رسم خطوط موازی در جهات مختلف بازکشت شدند. بعد از رشد باکتری با دیدن ناخالصی روی هر پلیت و یا مشاهده بیش از یک گونه باکتری در هر پلیت، عمل خالص‌سازی تکرار گردید، تا در نهایت در هر پلیت فقط یک نوع کلنی خالص بدون آلودگی مشاهده شد.

ابتدا در مرحله کیفی مقاومت باکتری‌ها به شوری در محیط کشت نوترینت آگار با غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۶۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم معادل هدایت الکتریکی ۰، ۱۲/۳، ۲۴، ۳۵/۲، ۴۶/۲، ۵۵/۶، ۶۴/۲ و ۶۸/۹ دسی‌زیمنس بر متر، بررسی شد. سپس از مرحله کیفی ۱۴ باکتری انتخاب شد. سپس از مرحله کیفی ۱۴ باکتری انتخاب و در مرحله کمی تاثیر سطوح مختلف شوری ناشی از نمک کلرید سدیم (۰، ۳۲۰، ۶۵۰ و ۸۵۰ میلی‌مولار) بر رشد باکتری‌ها در محیط کشت در محیط کشت مایع مغذی بررسی شد. از کشت تازه هر باکتری در محیط مایع به میزان ۱۰۰ میکرولیتر با جمعیت یکسان (1×10^{8}CFU/mL) تلقیح شد. دانسیته نوری باکتری‌ها در محیط مایع در طول موج ۶۰۰ نانومتر پس از ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد. این آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل شامل ۱۴ باکتری با ۴ سطح شوری در سه تکرار انجام شد. در آخر چهار جدایه باکتری (BZ79، BR90، BG59 و BG71) برای آزمایش گلخانه‌ای انتخاب شدند. معیار انتخاب جدایه‌های باکتری علاوه بر مقاومت به شوری، منطقه بیابانی نیز بود. بطوریکه، جدایه‌های مقاوم از مناطق بیابانی زرند (Z) یک جدایه، جوپار و ماهان (G) دو جدایه و رفسنجان (R) یک جدایه) انتخاب شدند.

کشت گلخانه‌ای

پژوهش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در فروردین ماه سال ۱۴۰۲ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. تیمارها شامل باکتری‌های مقاوم به شوری در ۵ سطح (BZ79، BR90، BG59، BG71 و B0 (شاهد بدون تلقیح))

و شوری در دو سطح (شاهد با هدایت الکتریکی ۱/۳۲ دسی‌زیمنس بر مترو سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در سه تکرار بودند.

برای کشت گلخانه بذرهای ذرت علوفه‌ای از مرکز تحقیقات استان کرمان تهیه شدند. بذرهای ذرت سالم با اندازه یکنواخت انتخاب و جهت ضدعفونی بذرها از اتانول ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۴ دقیقه استفاده و چندین بار با آب مقطر استریل شسته و در محیط سترون جوانه‌دار شدند. خاک استفاده شده در گلدان دارای pH ۷/۲، هدایت الکتریکی ۱/۳۲ دسی‌زیمنس بر متر و بافت لومی شنی بود. دمای گلخانه در طول مدت آزمایش به طور میانگین دارای بیشینه ۳۸ و کمینه ۱۹ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۴۰ تا ۶۰ درصد و سیکل روشنایی ۱۶ و تاریکی ۸ ساعت بود.

در هر گلدان چهار کیلوگرم خاک ریخته شد، سپس تعداد ۸ بذر جوانه‌دار در عمق یک سانتی‌متری کشت داده و به هر بذر ۲ میلی‌لیتر مایه تلقیح باکتری (معادل 10^{7}CFU/mL) اضافه گردید. رطوبت گلدان‌ها یک هفته قبل از کاشت و همچنین برای استقرار کامل گیاه به مدت ۲۰ روز بعد از کاشت در محدوده ظرفیت زراعی نگهداری شد. سپس تعداد گیاهچه‌ها به ۵ عدد کاهش داده شد. بعد از گذشت مدت زمان ۲۰ روز از کشت ذرت تیمار شوری به صورت آبیاری با آب شور اعمال شد. برای نزدیک شدن به شرایط طبیعی شوری خاک و کاهش اثر سمیت کلرید سدیم از مخلوط نمک‌های کلرید سدیم، کلرید کلسیم و منیزیم به نسبت ۱:۲:۳ استفاده شد. برای کاهش فشار ناگهانی به گیاهچه‌ها، اعمال تیمار شوری از طریق آب آبیاری در سه مرحله و به تدریج انجام شد، تا سطح شوری خاک گلدان‌ها به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر برسد. دوره رشد گیاه ۹۰ روز بود. برای از بین بردن اثر مکان در آزمایش، جابجایی گلدان‌ها هر چند روز انجام شد.

در پایان دوره رشد، ارتفاع اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه (دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون به مدت ۴۸ ساعت) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، شامل کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها، در ابتدا یک گرم از برگ تازه در هاون ساییده شد و با استن ۸۰ درصد همگن گردید، سپس سانتریفیوژ و مایع شفاف رویی جداسازی شد (۷). میزان جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر (A) توسط اسپکتروفتومتر (مدل EPOCH) اندازه‌گیری شد و میزان کلروفیل a (Chl_a)، کلروفیل b (Chl_b) و کاروتنوئیدها با استفاده از فرمول (۱) بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۷).

فرمول (۱)

$Chl_a = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$

$Chl_b = 21.21\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$

$Chl_t\ (Chl_a + Chl_b) = 7.15\ A_{663.2} + 18.71\ A_{646.8}$

$Carotenoids = (1000A_{470} - 1.8Chl_a - 85.02\ Chl_b)/198$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 8.1 و به روش آنالیز واریانس انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری

در این پژوهش از مجموع خاک‌های جمع‌آوری شده از ریزوسفر گیاهان بیابانی مختلف در ابتدا ۴۱ جدایه جداسازی و خالص‌سازی شد. خاک‌های ریزوسفری دارای pH در محدوده ۷ تا ۹/۵ و هدایت الکتریکی در محدوده ۴ تا ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر بودند.

هدف از انتخاب درختچه‌های مناطق بیابانی بالا بردن تنوع ژنتیکی باکتری‌های بومی منطقه و جداسازی باکتری‌های سازگار یافته با محیط‌های تحت تنش‌های شدید شوری و خشکی بود. بر اساس نتایج آزمون کیفی، ۱۴ باکتری (BR90، BZ79، BG71، BG31، BR68،

BG59، BR67، BG22، BG28، BG7، BR30، BR37، BZ96 و BR86) انتخاب شدند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های رشد باکتری‌ها در محیط مایع حاوی غلظت‌های متفاوت نمک نشان داد که تأثیر نوع جدایه باکتری، شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر میزان رشد باکتری‌ها در محیط کشت مایع معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اگر چه با افزایش سطح شوری رشد همه باکتری‌ها کاهش یافت، اما بین باکتری‌های مختلف از نظر میزان رشد در غلظت‌های متفاوت نمک تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین در غلظت ۸۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بیشترین رشد جدایه‌های BG71 و BG7 به ترتیب با مقدار دانسیته نوری ۰/۶۶ و ۰/۶۵ بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۲). در غلظت ۶۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بیشترین رشد را جدایه‌های BG59 و BG71 به ترتیب با مقدار دانسیته نوری ۱/۲۱ و ۰/۷۷ نشان دادند که تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). در غلظت ۳۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بیشترین رشد را بر اساس میزان دانسیته نوری جدایه‌های BG71، BR90 و BG59 با ترتیب به مقدار ۱/۳۸، ۱/۲۹ و ۱/۲۴ نشان دادند که از نظر میزان رشد تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۲). در شرایط بدون تنش شوری بیشترین رشد را بر اساس میزان چگالی نوری جدایه‌های BR90، BG71، BG59، BG22، BG31 و BR68 نشان دادند که در محدوده ۱/۴۷ تا ۱/۳۹ بودند و از نظر میزان رشد تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۲). جدایه BG71 در همه غلظت‌های نمک رشد مطلوبی نسبت به سایر باکتری‌ها داشت (جدول ۲). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که یکی از مکانیسم‌های دفاعی در باکتری‌ها افزایش غلظت اسید آمینه‌ها از جمله گلوتامین، گلوتامات و بتائین در سلول‌ها برای ایجاد تعادل در پتانسیل باکتری‌ها است (۳۵).

جدول (۱) تجزیه واریانس اثر شوری، باکتری و برهم‌کنش آن‌ها بر میزان رشد باکتری در محیط کشت مایع

Table (1) Analysis of variance of the effect of salinity, bacteria and their interaction on the growth rate of bacteria in liquid culture medium

میزان رشد باکتری Growth rate of bacteria	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of Variation
0.270*	13	باکتری Bacterium
4.220*	3	سطوح شوری Salinity levels
0.079*	39	باکتری × تسطوح شوری Salinity levels × Bacterium
0.702	112	خطای آزمایش Error
8.88		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

*معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد

*Significant at 5% probability level

جدول(۲) مقایسه میانگین میزان رشد باکتری‌ها (OD_{600nm}) در غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم در محیط کشت مایع (روش کمی)

Table (2)

Comparison of the mean bacterial growth (OD600nm) at different sodium chloride concentrations in liquid culture medium (quantitative method).

باکتری Bacteria	کلرید سدیم (NaCl)			
	۰ میلی‌مولار 0 mM	۳۲۰ میلی‌مولار 320 mM	۶۵۰ میلی‌مولار 650 mM	۸۵۰ میلی‌مولار 850 mM
BR90	1.47^{a}	1.29^{b-e}	0.66^{it}	0.52^{qv}
BZ79	1.30^{c-e}	0.60^{nv}	0.52^{sv}	0.48^{v}
BG71	1.42^{a-c}	1.38^{b-d}	0.77^{jm}	0.66^{lt}
BG31	1.39^{a-c}	0.86^{ik}	0.72^{kp}	0.61^{nv}
BR68	1.39^{a-c}	1.16^{e-g}	0.75^{jn}	0.56^{qv}
BG59	1.40^{a-c}	1.24^{d-f}	1.21^{e-g}	0.57^{pv}
BR67	1.17^{e-g}	1.08^{gh}	0.50^{uv}	0.51^{t-v}
BG22	1.40^{a-c}	0.72^{kp}	0.67^{ls}	0.50^{uv}
BG28	1.15^{fg}	0.79^{j-l}	0.58^{pv}	0.52^{rv}
BG7	1.08^{gh}	0.89^{ij}	0.74^{ko}	0.65^{lu}
BR30	0.97^{hi}	0.85^{i-k}	0.66^{ls}	0.62^{mv}
BR37	0.94^{h}	0.67^{lq}	0.59^{ov}	0.50^{uv}
BZ96	0.75^{jn}	0.67^{lr}	0.58^{pv}	0.53^{qv}
BR86	1.21^{e-g}	0.61^{nv}	0.57^{qv}	0.49^{v}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means followed by the same latter are not significantly different according to LSD-test at $P\leq0.05$

کشت گلخانه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی شوری، مایه زنی باکتری و همچنین اثرات متقابل باکتری‌ها و شوری بر ارتفاع اندام هوایی و ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

در خاک شور (۱۲ dS/m) وزن خشک اندام هوایی، وزن تر اندام هوایی و ریشه به ترتیب ۵۱/۴، ۲۴/۴ و ۱۵/۹ درصد نسبت به شاهد بدون تنش (۱/۳۲ dS/m) کاهش یافت (جدول ۴). تحت تنش شوری پتانسیل اسمزی بالا در منطقه ریشه باعث کاهش میزان جذب آب توسط گیاه و در نتیجه کاهش رشد و وزن گیاه می‌شود (۶). بر اساس گزارش پژوهشگران تنش شوری منجر به کاهش وزن تر و خشک شاخساره گیاه ذرت شد (۳۹).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که تلقیح گیاه ذرت با هر چهار باکتری (BZ79، BR90، BG59 و BG71) باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی، وزن تر اندام هوایی و ریشه گیاه شد (جدول ۶). کاربرد باکتری‌های BZ79، BR90، BG59 و BG71 وزن خشک اندام هوایی را در خاک غیرشور به ترتیب ۲۰، ۱۲/۳، ۱۳ و ۳ درصد و در خاک شور به ترتیب ۶۲/۲، ۳۹/۵، ۵۹ و ۴۱/۴ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) افزایش داد(جدول ۴). محققین گزارش کردند که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه تربچه به طور قابل توجهی با افزایش تنش شوری کاهش یافت و تیمار گیاهان با باکتری‌های مقاوم در شرایط شور موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه شد (۴۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری مربوط به گیاه تیمار شده با جدایه BZ79 به مقدار ۲۵/۹۵گرم و کمترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به گیاه بدون تلقیح (B0) در شرایط تنش شوری به مقدار ۱۶ گرم مشاهده شد (جدول ۶). در شرایط تنش شوری وزن تر اندام هوایی با کاربرد باکتری‌های BZ79، BR90، BG59 و BG71 به ترتیب ۳۴/۴، ۲۷/۸، ۳۸/۹ و ۱۱/۱

درصد و وزن تر ریشه با همان ترتیب ۳۱/۳، ۸۱/۲، ۲۳/۶ و ۱۹/۸ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) افزایش نشان داد (جدول ۴). ثابت شده است که باکتری‌های مفید به دلیل توانایی در حذف یا کاهش اثرات مضر تنش شوری و بهبود رشد گیاه، موثر هستند (۱۲). باکتری‌ها تحمل گیاه به شوری را با تغییر اسمولیت‌ها (بتائین، پرولین، و ترهالوز)، پتانسیل آنتی اکسیدانی و بیان ژن‌های مرتبط با استرس افزایش می‌دهد (۱۱). در مطالعه مشابه مشاهده شد که در شرایط شور، وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گیاه نخود کاهش یافت و اما تلقیح گیاه نخود با باکتری *باسیلوس سابتیلیس* توانست وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به طور قابل توجهی افزایش دهد (۱). محققان دیگر نیز گزارش کردند که تلقیح گیاه ذرت با باکتری باسیلوس جداسازی شده از مناطق شور به طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت را در شرایط تنش شوری افزایش داد (۴۳). نتایج این تحقیقات با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

جدول(۳) تجزیه واریانس اثر شوری، انواع باکتری‌ها و برهم‌کنش آن‌ها بر صفات فیزیولوژیکی گیاه ذرت

Table (3) Analysis of variance of the effect of salinity, bacteria and their interaction on physiological traits of maize plants

منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات mean square values				
		وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	طول اندام هوایی Shoot length	طول ریشه Root Length
باکتری Bacteria	4	44.55**	923.3**	250.44*	208.40**	563.01**
سطوح شوری Salinity levels	1	18.16**	2100.3**	667.40**	448.50**	667.40*
باکتری × تسطوح شوری Salinity levels×Bacteria	4	7.94**	46.7**	24.59**	32.82**	49.60**
خطای آزمایش Error	20	0.32	8.43	5.50	3.67	6.09
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	2.31	2.44	4.69	2.03	3.90

ns، *و **به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول(٤)مقایسه میانگین برهم‌کنش باکتری‌ها و شوری بر صفات فیزیولوژیکی گیاه ذرت

Table (4) Comparison of the mean interaction effects of bacteria and salinity on the physiological traits of maize

تیمار Treatment	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) Shoot dry weight (g/pot)		وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان) Shoot fresh weight (g/pot)		وزن تر ریشه (گرم در گلدان) Shoot fresh weight (g/pot)	
	1.32 dS/m	12 dS/m	1.32 dS/m	12 dS/m	1.32 dS/m	12 dS/m
B0	24.23^{d}	16.00^{f}	112.0^{d}	90^{f}	45.0^{de}	38.8^{f}
BZ79	29.10^{a}	25.95^{c}	138.0^{a}	121^{c}	64.5^{a}	51.0^{b}
BR90	27.21^{b}	22.33^{e}	128.6^{b}	115^{d}	50.0^{bc}	42.0^{ef}
BG59	27.37^{b}	25.44^{c}	134.0^{a}	125^{bc}	62.0^{a}	48.0^{bcd}
BG71	24.96^{cd}	22.63^{e}	122.0^{c}	100^{e}	52.0^{b}	46.5^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means followed by the same latter are not significantly different according to LSD-test at $P\leq0.05$

بر اساس نتایج پژوهش تنش شوری تاثیر معنی‌داری بر رشد اندام هوایی و ریشه داشت، بطوری که رشد اندام هوایی و ریشه در گیاهان رشد یافته در خاک شور در مقایسه با گیاهان کشت شده در خاک غیرشور کاهش یافت (جدول ۵). در خاک شور (۱۲ dS/m) ارتفاع اندام هوایی و طول ریشه به ترتیب ۷/۸ و ۶/۴ درصد نسبت به شاهد بدون تنش کاهش یافت (جدول ۵). در طرح تحقیقاتی دانهال پسته کاهش ارتفاع ساقه در اثر تنش شوری در گیاه پسته گزارش شد (۶). پژوهشگران گزارش کردند که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار در طول ریشه در هر دو رقم برنج (رقم متحمل زاینده رود و رقم حساس خزر) گردید (۱۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که تلقیح با هر چهار باکتری (BZ79، BR90، BG59 و BG71) در خاک شور و غیرشور موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع اندام هوایی و طول ریشه شد (جدول ۵). باکتری‌های ریزوسفری با ترشح اکسین ممکن است بر بسیاری از فرایندها در گیاهان از جمله رشد، تقسیم سلولی و تمایز، جوانه زنی، تحریک بذر، افزایش رشد و نمو ریشه، کنترل فرایندهای رشد رویشی، تشکیل ریشه‌های فرعی و موئین، واکنش به نور، زمین، فتوسنتز، تشکیل رنگدانه، تولید متابولیت‌های مختلف و ایجاد مقاومت به شرایط تنش‌زا اثرگذار باشد (۳۱). مهم‌ترین اثر اکسین، تقویت رشد ریشه‌ها و ساقه‌ها از طریق کشش سلول‌های تازه تشکیل‌شده در مریستم است، اکسین تقسیم سلولی را کنترل می‌کند (۴۵). همچنین، افزایش غلظت ایندول استیک اسید در منطقه ریشه باعث نرم شدن دیواره‌های سلولی ریشه و در نتیجه افزایش ترشحات ریشه گیاه میزبان می‌شود. افزایش ترشحات خود باعث سهولت و افزایش دسترسی باکتری‌های موجود در منطقه ریزوسفر به عناصرغذایی و در نتیجه افزایش رشد و جمعیت آن‌ها می‌گردد (۱۰). نتایج نشان داد که در خاک شور تلقیح با سویه‌های باکتری‌های BZ79، BR90، BG59 و BG71 به ترتیب موجب افزایش ۹/۹، ۱۸/۶، ۱۳/۲ و ۸/۴ درصدی ارتفاع اندام هوایی نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) شد (جدول ۵). همچنین تلقیح گیاه با سویه‌های باکتری BZ79، BR90، BG59 و BG71 نیز به ترتیب باعث افزایش ۱۹/۲، ۱۹/۲، ۳۳ و ۴۹/۵ درصدی طول ریشه نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) شد (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشاهده شد که بیشترین ارتفاع اندام هوایی در شرایط تنش شوری مربوط به گیاهان تیمار شده با باکتری BR90 با ارتفاع ۹۷/۴۰ سانتی‌متر (افزایش ۱۸/۶ درصدی نسبت به شاهد بدون تلقیح) می‌باشد و بیشترین طول ریشه در گیاهان تلقیح شده با باکتری BG71 (افزایش ۴۹/۵ درصدی نسبت به شاهد بدون تلقیح) مشاهده شد (جدول ۵). کمترین ارتفاع اندام هوایی و ریشه در گیاهان بدون تلقیح در شرایط تنش شوری مشاهده شد (جدول ۵). پژوهشگران گزارش کردند که تلقیح گیاه باسیای هندی با باکتری ریزوسفری *باسیلوس* وزن خشک گیاه، ارتفاع ریشه و ساقه را افزایش داد و ریشه گیاهان تلقیح شده به طور قابل توجهی بلندتر از ریشه های گیاهان تلقیح نشده بود (۳). همچنین گزارش شده است که در شرایط تحت تنش تلقیح گیاه ماش سیاه و نخود با سویه‌های باکتری ریزوسفری باسیلوس موجب افزایش وزن اندام هوایی، تولید دانه، افزایش ارتفاع ریشه و ساقه شد (۳۲).

جدول(۵) مقایسه میانگین برهم‌کنش‌های باکتری‌ها و شوری بر طول اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت

Table (5) Comparison of the mean interaction effects of bacteria and salinity on shoot and root length of maize

تیمار Treatment	ارتفاع اندام هوایی (سانتی‌متر) Shoot length (cm)		طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	
	1.32 dS/m	12 dS/m	1.32 dS/m	12 dS/m
B0	88.50^{e}	82.1^{f}	50.00^{ef}	47.00^{f}
BZ79	94.06^{c}	90.2d^{e}	64.00^{c}	56.00^{d}
BR90	104.60^{a}	97.4^{b}	68.73^{b}	56.10^{d}
BG59	98.30^{b}	92.9^{cd}	78.50^{a}	62.50^{c}
BG71	104.80^{a}	89.0^{e}	76.00^{a}	70.23^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means followed by the same latter are not significantly different according to LSD-test at P≤0.05

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری، باکتری‌های مقاوم به شوری و همچنین اثرات متقابل باکتری‌ها و شوری بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b،کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). میزان کلروفیل در گیاهان تحت تنش، یک پارامتر مهم برای بررسی وضعیت سلامت و ظرفیت فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش است. در خاک شور (۱۲ dS/m) غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به ترتیب ۶۴/۲، ۱۱۵، ۹۰/۶ و ۳ درصد کاهش یافت (جدول ۷). احتمالا کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط شور به دلیل تاثیر منفی نمک بر افزایش تخریب یا سنتز رنگدانه‌ها (۲۴) از طریق آسیب شدید به تیلاکوئیدهای کلروپلاست (۸) می‌باشد. با افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر در شرایط تنش شوری آنزیم کلروفیلاز افزایش یافته و با متلاشی ساختن ساختار کلروپلاست کاهش مقدار کلروفیل را بدنبال دارد (۱۴). نتایج پژوهشگران نشان داد که شوری باعث کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در برگ باسیای هندی نسبت به گیاهان رشد یافته در خاک غیرشور شد (۳). نتایج مشابهی در سایر مطالعات مشاهده شد که رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری به طور قابل توجهی کاهش یافتند (۲). پژوهشگران کاهش محتوای رنگدانه را به اثر مخرب تنش شوری بر کلروپلاست در گیاهان نسبت دادند (۴۶).

در شرایط تنش شوری تلقیح گیاه ذرت با باکتری‌های BZ79، BG59 و BG71 به ترتیب ۷۳/۳، ۹۲/۳ و ۱۳۶/۹ درصد کلروفیل a را نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) افزایش داد و کاربرد سویه BR90 تاثیر مثبتی بر افزایش میزان کلروفیل a نشان نداد (جدول ۷). در شرایط تنش شوری کاربرد سویه‌های BZ79، BR90، BG59 و BG71 میزان کلروفیل b را نیز به ترتیب ۲/۶، ۱/۸، ۱/۷ و ۱/۸ برابر نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) افزایش داد (جدول ۷). میزان کلروفیل کل با کاربرد باکتری‌های BZ79 و BG71 به ترتیب ۲/۲ و ۲ برابر و با کاربرد دو سویه BR90 و BG59 به ترتیب ۳۸/۷ و ۸۱ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح (B0) در شرایط تنش شوری افزایش داشت (جدول ۷). در خاک‌های شور، تلقیح گیاهان با دو باکتری BR90 وBG59 میزان کاروتنوئید را نیز بیش از سه برابر نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش داد و در خاک‌های غیرشور هر چهار باکتری (BZ79، BR90، BG59 و BG71) توانستند میزان کاروتنوئید را بیش از سه برابر نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش دهند (جدول ۷). کاروتنوئیدها می‌توانند با حذف رادیکال‌های اکسیژن به دفاع آنتی‌اکسیدانی کمک کرده و درنتیجه مانع اتلاف انرژی فتوسیستم‌ها در شرایط تنش شوند(۳۷).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین در شرایط تنش شوری بیشترین مقدار کلروفیل a با کاربرد باکتری BG71 به مقدار ۸/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، بیشترین مقدار کلروفیل b با کاربرد باکتری BZ79 با مقدار ۱۰/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و بیشترین مقدار کاروتنوئید با کاربرد باکتری BG59 به مقدار ۳/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد (جدول ۷). در مطالعه مشابه ۸۹ باکتری از ریزوسفر دو گیاه نمک‌دوست بومی کشور الجزایر (*Suaeda mollis* و *Salsola tetrandra*) جداسازی شدند و از بین این سویه‌ها، براساس تحمل به شوری، خشکی و pH سه سویه باکتریایی BR5، OR15 و RB13 انتخاب گردیدند. این سویه‌های باکتریایی برای تلقیح آرابیدوپسیس تالیانا و گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری استفاده شدند. در مجموع داده‌های به‌دست‌آمده نشان دادند که تلقیح باکتریایی هر دو گونه‌ی گیاهی مذکور در هر دو شرایط بدون تنش و تنش شوری سبب افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید شد و تیمارهای باکتریایی آسیب‌های ناشی از تنش شوری را کاهش داد (۲۱). در مطالعه دیگر مشاهده شد که تلقیح بذر تربچه با باکتری‌های ریزوسفری مفید وزن تر و خشک ریشه و برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و کل اسیدهای آمینه آزاد را در مقایسه با گیاهان شاهد تلقیح نشده به طور قابل توجهی افزایش داد (۲۷).

جدول(٦) تجزیه واریانس اثر شوری، باکتری‌ها و برهم‌کنش آن‌ها بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه ذرت

Table (6) Analysis of variance of the effect of salinity, bacteria and their interaction on photosynthetic pigments of maize.

منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات mean square values			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids
باکتری Bacteria	4	19.62**	116.4**	128.50**	10.71**
سطوح شوری Salinity levels	1	24.88**	96.00**	224.70**	20.53**
باکتری × سطوح شوری Salinity levels×Bacteria	4	5.69**	42.84**	29.85**	3.10**
خطای آزمایش Error	20	0.13	0.17	0.35	0.049
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.32	4.62	3.71	8.31

ns، *و **به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول(۷) مقایسه میانگین برهم‌کنش باکتری‌ها و شوری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت

Table (7) Comparison of the mean interaction effects of bacteria and salinity on the photosynthetic pigments in maize.

تیمار Treatment	کلروفیل a (میلی‌گرم/گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g FW)		کلروفیل b (میلی‌گرم/گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g FW)		کلروفیل کل (میلی‌گرم/گرم وزن تر) Total Chlorophyll (mg/g FW)		کاروتنوئید (میلی‌گرم/گرم وزن تر) Carotenoids (mg/g FW)	
	1.32 dS/m	12 dS/m	1.32 dS/m	12 dS/m	1.32 dS/m	12 dS/m	1.32 dS/m	12 dS/m
B0	6.14^{d}	3.74^{e}	8.75^{c}	4.07^{e}	15.06^{e}	7.90^{g}	1.05^{e}	1.02^{e}
BZ79	6.04^{d}	6.48^{d}	23.19^{a}	10.71^{b}	29.60^{a}	17.39^{bc}	4.07^{a}	1.20^{c}
BR90	7.63^{c}	3.34^{e}	7.29^{d}	7.48^{d}	15.07^{e}	10.96^{f}	3.97^{a}	3.38^{b}
BG59	9.92^{a}	7.19^{c}	7.70^{d}	7.07^{d}	17.79^{b}	14.35^{e}	4.19^{a}	3.80^{a}
BG71	9.00^{b}	8.86^{b}	7.54^{d}	7.25^{d}	16.71^{cd}	16.27^{d}	4.18^{a}	1.66^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means followed by the same latter are not significantly different according to LSD-test at P≤0.05

نتیجه‌گیری

تلقیح باکتریایی گیاه ذرت در هر دو شرایط بدون تنش و تنش شوری بر بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و رنگیزه‌های فتوسنتزی موثر بود. مایه‌زنی باکتری‌های مقاوم به شوری با افزایش رشد گیاه، افزایش رشد ریشه و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی، همچنین افزایش کلروفیل و متابولیت‌های موثر مقاومت گیاه را به شوری بهبود بخشیدند. جدایه BZ79 نسبت به سایر جدایه‌ها در بهبود ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گیاه ذرت در خاک شور تاثیر بیشتری نشان داد. بطور کلی، با توجه به تأثیر مفید سویه‌های باکتری مقاوم به شوری بر رشد گیاه ذرت در شرایط تنش شوری در صورت دارا بودن ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌ها در مطالعات بعدی می‌توان از این میکروارگانیسم‌ها به عنوان کودهای زیستی امیدوار کننده برای بهبود رشد و عملکرد گیاه ذرت در مناطق شور استان کرمان استفاده کرد. بنابراین، آزمایشات بیشتری در زمینه بررسی ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌ها، تعیین توالی ژنوم باکتری‌ها و شناسایی ملکولی و بررسی تاثیر آن‌ها بر رشد گیاه ذرت در محیط مزرعه قبل از ارائه یک توصیه کلی ضروری بنظر می‌رسد.

References

1. Abd Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Hashem, A., Radhakrishnan, R., Al-Huqail, A.A., Al-Otibi, F.O.N., and Egamberdieva, D. 2018. Endophytic bacterium *Bacillus subtilis* (BERA 71) improves salt tolerance in chickpea plants by regulating the plant defense mechanisms. Journal of Plant Interactions, 13(1): 37-44. 10.1080/17429145.2017.1414321

2. Abd Allah, E.F., Hashem, A., Alqarawi, A.A., Bahkali, A.H., and Alwhibi, M.S. 2015. Enhancing growth performance and systemic acquired resistance of medicinal plant *Sesbania sesban (L.)* Merr using arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(3): 274-283. 10.1016/j.sjbs.2015.03.004

3. Abeer, H., Abdallah, E.F., Alqarawi, A.A., Al-Huqail, A.A., Alshalawi, S.R. M., Wirth, S., and Dilfuza, E. 2015. Impact of plant growth promoting *Bacillus subtilis* on growth and physiological parameters of Bassia indica (Indian bassia) grown udder salt stress. Pakistan Journal of Botany, 47(5): 1735-1741.

4. Alori, E.T., Emmanuel, O.C., Glick, B.R., and Babalola, O.O. 2020. Plant-archaea relationships: A potential means to improve crop production in arid and semiarid regions. World Journal Microbiology and Biotechnology, 36(9): 133. 10.1007/s11274-020-02910-6

5. Banakar, M.H., Rahimian, M.H., Ranjbar, G.H., and Shirani Tafti, M. 2014. Effect of saline irrigation on seedlings shoot and root characteristics of five pistachio cultivars in Yazd province. Journal of Water Research in Agriculture, 28(2): 341-351 (in Persian with English abstract). 10.22092/jwra.2014.100035

6. Bor, M., Özdemir, F., and Türkan, I. 2003. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris L*. and wild beet *Beta maritima L*. Plant science, 164(1), 77-84. 10.1016/S0168-9452(02)00338-2

7. Bruuinsma, J. 1963. The Quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts. Photochemistry and Photobiology, 2. 10.1111/j.1751-1097.1963.tb08220.x

8. Camejo, D., Jiménez, A., Alarcón, J.J., Torres, W., Gómez, J.M., and Sevilla, F. 2006. Changes in photosynthetic parameters and antioxidant activities following heat-shock treatment in tomato plants. Functional Plant Biology, 33(2): 177–187. 10.1071/FP05067

9. Christakis, C.A., Daskalogiannis, G., Chatzaki, A., Markakis, E.A., Mermigka, G., Sagia, A., Rizzo, G.F., Catara, V., Lagkouvardos, I., Studholme, D.J., et al. 2021. Endophytic bacterial isolates from halophytes demonstrate phytopathogen biocontrol and plant growth promotion under high salinity. Frontiers in Microbiology, 12: 681567. 10.3389/fmicb.2021.681567

10. Duca, D.R., and Glick, B.R. 2020. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria. Applied Microbiology and Biotechnology, 104: 8607-8619. 10.1007/s00253-020-10869-5

11. El-Esawi M.A., Al-Ghamdi A.A., Ali H.M., and Alayafi A.A. 2019. *Azospirillum lipoferum* FK1 confers improved salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) by modulating osmolytes, antioxidant machinery and stress-related genes expression. Environmental and Experimental Botany, 159:55–65. 10.1016/j.envexpbot.2018.12.001

12. Ghyselinck, J., Velivelli, S.L., Heylen, K., O'Herlihy, E., Franco, J., Rojas, M., and Prestwich, B.D. 2013. Bioprospecting in potato fields in the Central Andean Highlands: screening of rhizobacteria for plant growth-promoting properties. Systematic and Applied Microbiology, 36(2): 116-127. 10.1016/j.syapm.2012.11.007

13. Habibollahi, N., Mahdiyeh, M., and Amirjani, M.R. 2012. Effect of salt stress on growth, proline, antioxidant enzyme activity and photosystem efficiency in salt-sensitive and tolerant rice cultivars.

Journal of Plant Biological Sciences, 4(13): 85-96 (in Persian with English abstract). 20.1001.1.20088264.1391.4.13.8.3

14. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G.M.A., Sridharan, R., and Panneerselvam, R. 2007. NaCl as a physiological modulator of proline metabolism and antioxidant potential in Phyllanthus amarus. Comptes Rendus Biologies, 330(11) 806–813. 10.1016/j.crvi.2007.08.009

15. James, R.A., Caemmerer, S., Condon, A.T., Zwart, A.B., and Munns, R. 2008. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress componentof salinity stress in durum wheat. Functional Plant Biology, 35(2): 111-123. 10.1071/FP07234

16. Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. Critical Reviews in Plant Sciences, 30(5): 435-458. 10.1080/07352689.2011.605739

17. Kang, S.M., Radhakrishnan, R., and Lee, I.J. 2015. Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum GR53, a potent biocontrol agent resists Rhizoctonia disease on Chinese cabbage through hormonal and antioxidants regulation. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 31: 1517-1527. 10.1007/s11274-015-1896-0

18. Kang, S.M., Waqas, M., Khan, A.L., and Lee, I.J. 2014. Plant-growth-promoting rhizobacteria: potential candidates for gibberellins production and crop growth promotion. Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses, 1: 1-19. 10.1007/978-1-4614-9466-9_1

19. Karlidag, H., Yildirim, E., Turan, M., Pehluvan, M., and Donmez, F. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterious effects of salt stress on strawberry plants (Fragaria× ananassa). Hort Science, 48(5): 563-567. 10.21273/HORTSCI.48.5.563

20. Kaushal, M., and Wani, S.P. 2016. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. Annals Microbiology, 66: 35–42. 10.1007/s13213-015-1112-3

21. Kerbab, S., Silini, A., Chenari Bouket, A., Cherif-Silini, H., Eshelli, M., El Houda Rabhi, N., Belbahri, L. 2021. Mitigation of NaCl Stress in wheat by rhizosphere engineering using salt habitat adapted PGPR halotolerant bacteria. Applied Sciences, 11: 1034. 10.3390/app11031034

22. Khadri, M., Tejera, N.A., and Lluch, C. 2006. Alleviation of salt stress in common bean (P*haseolus vulgaris*) by exogenous abscisic acid supply. Journal of Plant Growth Regulation, 25: 110-119. 10.1007/s00344-005-0004-3

23. Krishnan, R.R., and Kumari, B.D. 2008. Effect of N-triacontanol on the growth of salt stressed soybean plants. Journal of Bioscience, 19(2): 53-62. https://ejournal.usm.my/tlsr/article/view/tlsr_vol19-no-2-2008_5

24. Kumar, S. 2012. Assay Guided Comparison for Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidant Activities with Special Reference to Medicinal Plants. Antioxidant Enzyme, 14: 382–400. 10.5772/50782

25. Latef, A.A.H., Abu Alhmad, M.F., Kordrostami, M., Abo-Baker, A.B.A.E., and Zakir, A. 2020. Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. Journal of Plant Growth Regulation, 39: 1293–1306. 10.1007/s00344-020-10065-9

26. Mahajan, S. and Tuteja, N. 2005. Cold, Salinity and Drought Stresses: An Overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444(2): 139-158. 10.1016/j.abb.2005.10.018

27. Mohamed, H.I., and Gomaa, E.Z. 2012. Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. Photosynthetica, 50: 263-272. 10.1007/s11099-012-0032-8

28. Nadeem, S.M., Ahmad, M., Tufail, M.A., Asghar, H.N., Nazli, F., and Zahir, Z.A. 2021. Appraising the potential of EPS-producing rhizobacteria with ACC-deaminase activity to improve growth and

physiology of maize under drought stress. Physiologia Plantarum, 172: 463–476. 10.1111/ppl.13212. Epub 2020 Oct 11

29. Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., and Nawaz, S. 2013. Mitigation of salinity-induced negative impact on the growth and yield of wheat by plant growth-promoting rhizobacteria in naturally saline conditions. Annals of Microbiology, 63(1): 225-232. 10.1007/s13213-012-0465-0

30. Radhakrishnan, R., and Lee, I.J. 2013. Regulation of salicylic acid, jasmonic acid and fatty acids in cucumber (*Cucumis sativus L.*) by spermidine promotes plant growth against salt stress. Acta Physiologiae Plantarum, 35: 3315-3322. 10.1007/s11738-013-1364-0

31. Rivera, D., Mora, V., Lopez, G., Rosas, S., Spaepen, S., Vanderleyden, J., and Cassan, F. 2018. New insights into indole-3-acetic acid metabolism in *Azospirillum brasilense*. Journal of Applied Microbiology, 125(6): 1774-1785. 10.1111/jam.14080

32. Saikia, J., Sarma, R.K., Dhandia, R., Yadav, A., Bharali, R., Gupta, V.K., and Saikia, R. 2018. Alleviation of drought stress in pulse crops with ACC deaminase producing rhizobacteria isolated from acidic soil of Northeast India. Scientific Reports, 23: 3560. 10.1038/s41598-018-21921-w

33. Sandhya, V., and Ali, S.Z. 2015. The production of exopolysaccharide by Pseudomonas putida GAP-P45 under various abiotic stress conditions and its role in soil aggregation. Microbiology, 84: 512-519. 10.1134/S0026261715040153

34. Sarkar, D., and Rakshit, A. 2020. Safeguarding the fragile rice–wheat ecosystem of the Indo-Gangetic Plains through bio-priming and bioaugmentation interventions. FEMS Microbiology Ecology, 96(12): fiaa221. 10.1093/femsec/fiaa221

35. Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S. K., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R., and Zheng, B. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. Biomolecules, 9(7): 285. 10.3390/biom9070285

36. Sharma, A., Shankhdhar, D., and Shankhdhar, S.C. 2013. Enhancing grain iron content of rice by the application of plant growth promoting rhizobacteria. Plant, Soil and Environment, 59: 89–94. 10.17221/683/2012-PSE

37. Singh, J., and Thakur, J.K. 2018. Photosynthesis and abiotic stress in plants. Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants, 27-46. 10.1007/978-981-10-9029-5_2

38. Suarez, C., Cardinale, M., Ratering, S., Steffens, D., Jung, S., Montoya, A.M.Z., and et al. 2015. Plant growth-promoting effects of *Hartmannibacter diazotrophicus* on summer barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. Applied Soil Ecology, 95: 23–30. 10.1016/j.apsoil.2015.04.017

39. Szalai, G., and Janda, T. 2009. Effect of salt stress on the salicylic acid synthesis in young maize (*Zea mays L.*) plants. Journal of Agronomy and Crop Science, 195(3): 165-171. 10.1111/j.1439-037X.2008.00352.x

40. Tapias, D.R., Galvan, A.M., Diaz, S.P., Obando, M., Rivera, D., and Bonilla, R. 2012. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). Applied Soil Ecology, 61: 264–272. 10.1016/j.apsoil.2012.01.006

41. Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218: 1-14. 10.1007/s00425-003-1105-5

42. Yildirim, E.R., Turan, M.E., and Donmez, M.F. 2008. Mitigation of salt stress in radish (*Raphanus sativus L.*) by plant growth promoting rhizobacteria. Roumanian Biotechnological Letters,13:3933-943https://www.researchgate.net/publication/288404318

43. Zakavi, M., Askari, H., and Shahrooei, M. 2022. Maize growth response to different Bacillus strains

isolated from a salt-marshland area under salinity stress. BMC Plant Biology, 22(1): 367. 10.1186/s12870-022-03702-w

44. Zhang, C., Li, X., Yin, L., Liu, C., Zou, H., Wu, Z., and Zhang, Z. 2019. Analysis of the complete genome sequence of *Brevibacterium frigoritolerans* ZB201705 isolated from drought- and salt-stressed rhizosphere soil of maize. Annals of Microbiology, 69, 1489–1496. 10.1007/s13213-019-01532-0

45. Zhao, Y. 2012. Auxin biosynthesis: a simple two-step pathway converts tryptophan to indole-3-acetic acid in plants. Molecular plant, 5(2): 334-338. 10.1093/mp/ssr104

46. Zörb, C., Herbst, R., Forreiter, C., and Schubert, S. 2009. Short-term effects of salt exposure on the maize chloroplast protein pattern. Proteomics, 9(17): 4209-4220. 10.1002/pmic.200800791