J. Soil Plant Interact. 2025; 16(4): 35–55. https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.20622

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

Effect of Haloalkaliphilic Bacteria Types on Corn Yield, Yield Components, and Some Micronutrients Under Saline and Alkaline Soil Conditions

Mehrnoush Eskandari Torbaghan[1*] and Gholam Hossein Khalil Torghabeh[2]

1- Soil and Water Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

2- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding author, Email: m.eskandary@areeo.ac.ir

(Received: 27 July 2025; Revised: 29 October 2025; Accepted: 2 November 2025)

Abstract

Background and Objective: Corn is a crop with moderate sensitivity to soil salinity; therefore, improving its resistance to salinity stress is very important.

Methods: To investigate the effect of native extremophile isolates of Khorasan Razavi, with the highest ability to produce tri-indoleacetic acid (IAA), soluble mineral phosphates (PSB), and exopolysaccharides (EPS), on the yield, yield components, and micronutrient concentrations of supersweet corn (Elika cultivar), a study was conducted using three separate factorial experiments in a randomized complete block design. Each experiment included two factors: 1) type of bacteria (halophilic, alkaliphilic, and haloalkaliphilic) and 2) three different native isolates of halophilic (H2, H5 and H9), alkaliphilic (A11, A14 and A16) and haloalkaliphilic (HA7, HA8 and HA9) along with two controls (culture medium without bacteria and water) in nine replications under saline-alkali soil conditions in 2024.

Results: The average isolate's concentrations of IAA, PSB, and EPS production were obtained for halophiles (74.6, 44.5 mg L^{-1} and 29.3 µM L^{-1}), alkaliphiles (1390.5, 135.7 mg l^{-1} and 19.1 µM L^{-1}), and haloalkaliphiles (257.0, 141.7 mg L^{-1} and 99.79 µM L^{-1}), respectively. The average yield components and concentrations of micronutrients, except for iron, were higher in the haloalkaliphilic group, and the average corn yield was higher in the halophilic group. Alkaliphilic bacteria showed superiority in the absorption of iron (145.4 mg kg^{-1}) and manganese (34.6 mg kg^{-1}). The efficiency of alkaliphiles was not as high as the other two groups, probably due to insufficient sodium concentration, but A14 had a higher yield (2.245 kg m^{-2}) than the others.

Conclusion: The maximum average corn yield was observed in the halophilic isolate H5 with 3.879 kg m^{-2}, followed by the haloalkaliphilic isolate HA8 with 2.825 kg m^{-2}. There was a difference of 2.7 kg m^{-2} between the maximum (H5) and minimum (A11) corn yield. The lower yield in the haloalkaliphilic isolates was probably due to the higher soil salinity (34.1 dS m^{-1}) compared to the halophilic isolates (12.5 dS m^{-1}).

Keywords: Indole-3-acetic acid, Supersweet corn, Haloalkaliphiles, Micronutrients.

How to Cite: Eskandari Torbaghan, M., Khalil Torghabeh, G.H., 2025. Effect of haloalkaliphilic bacteria types on corn yield, yield components, and some micronutrients under saline and alkaline soil conditions. J. Soil Plant Interact. 16(4), 35–55 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.20622

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۴؛ (۴)۱۶: ۵۵-۳۵، https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.20622

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

اثر انواع باکتری‌های شورقلیاپسند بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر کم‌مصرف در گیاه ذرت در شرایط شوری و قلیائیت خاک

مهرنوش اسکندری تربقان[1*] و غلام حسین خلیلی طرقبه[2]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.eskandary@areeo.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۸/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱۱)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: ذرت محصولی، با حساسیت زیاد به شوری خاک بوده؛ درنتیجه افزایش مقاومت آن در برابر تنش شوری بسیار مهم است. **روش‌ها:** اثر جدایه‌های افراطی‌پسند بومی خراسان رضوی، با بیش‌ترین توانایی در تولید تری‌ایندول‌استیک اسید (IAA)، انحلال فسفات‌های نامحلول (PSB) و تولید اگزوپلی‌ساکاریدها (EPS)، بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف ذرت فوق شیرین (رقم الیکا)، بررسی شد. این پژوهش در سه آزمایش مجزای فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. هر آزمایش شامل دو فاکتور: ۱) نوع باکتری (شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسند) و ۲) سه جدایه بومی مختلف از سه نوع باکتری شورپسند (H5، H9 و H22)، قلیاپسند (A11، A14 و A16) و شورقلیاپسند (HA7، HA8 و HA9)، و دو شاهد (محیط کشت بدون باکتری و آب) در نه تکرار در شرایط سه خاک شور، قلیا، و شور-قلیا در سال ۱۴۰۳ بود. **نتایج:** میانگین تولید غلظت IAA، PSB و EPS برای شورپسندها به‌ترتیب $mg\ L^{-1}$ ۷۴/۶، ۴۴/۵ و $\mu M\ L^{-1}$ ۲۹/۳، قلیاپسندها $mg\ L^{-1}$ ۱۳۹۰/۵، $\mu M\ L^{-1}$ ۱۳۵/۷ و $mg\ L^{-1}$ ۱۹/۱ و شورقلیاپسندها $mg\ L^{-1}$ ۲۵۶/۰ و $\mu M\ L^{-1}$ ۴۱/۷ و $\mu M\ L^{-1}$ ۹۹/۷۹ به‌دست آمد. میانگین اجزای عملکرد، غلظت عناصر کم‌مصرف به جز آهن در گروه شورقلیاپسندها و میانگین عملکرد ذرت در گروه شورپسندها بیش‌تر بود. باکتری‌های قلیاپسند در جذب آهن ($mg\ kg^{-1}$ ۱۴۵/۴) و منگنز ($mg\ kg^{-1}$ ۳۴/۶) نسبت به دو گروه دیگر برتری نشان دادند. کارایی جذب عناصر کم‌مصرف قلیاپسندها، احتمالاً به‌علت غلظت ناکافی سدیم، به اندازه دو گروه دیگر زیاد نبود، ولی A14 عملکرد بیش‌تری ($kg\ m^{-2}$ ۲/۲۴۵) نسبت به سایر قلیاپسندها داشت. **نتیجه‌گیری کلی:** بیشینه میانگین عملکرد ذرت در جدایه شورپسند H5 با $kg\ m^{-2}$ ۳/۸۷۹ و سپس در جدایه شورقلیاپسند HA8 با $kg\ m^{-2}$ ۲/۸۲۵ مشاهده شد. بین بیشینه (H5) و کمینه (A11) عملکرد ذرت تفاوتی برابر $kg\ m^{-2}$ ۲/۷ مشاهده شد. عملکرد کم‌تر ذرت در جدایه‌های شورقلیاپسند، احتمالاً به‌دلیل شوری زیاد خاک آن ($dS\ m^{-1}$ ۳۴/۱) در مقایسه با جدایه‌های شورپسند ($dS\ m^{-1}$ ۱۲/۵) بود.

واژه‌های کلیدی: تری‌ایندول‌استیک اسید، ذرت فوق شیرین، شورقلیاپسندها، عناصر کم‌مصرف.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

کمبود خاک و آب با کیفیت، از مهم‌ترین عوامل ایجاد تنش‌های غیرزیستی در رسیدن به عملکرد مطلوب در گیاهان زراعی است (Jalali et al., 2017). با توجه به تغییر جدی در منابع و بروز تنش‌های مختلف غیرزیستی، تغییر در راهبردهای مناسب برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Sasani et al., 2014; Salar Ashaeri et al., 2018). استفاده از ریزجاندارن مفید بومی به‌منظور حذف سموم و سایر آلاینده‌های خاک، تجزیه سریع بازمانده‌های گیاهی، بهبود ساختمان فیزیکی خاک، اصلاح خاک‌های فرسوده، کمک به حفظ سلامت گیاه و مبارزه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی (Saleh Rastin, 1998)، یکی از این راهبردهای سازگار با محیط زیست بوده که در دهه‌های اخیر نیز مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. افراطی‌پسندها (اکسترموفیل‌ها[1]) با داشتن ویژگی‌های بیولوژیک مفید، از جمله ویژگی‌های ترفیع‌دهندگی رشد گیاه (PGPH یا PGPA)، در عین حال بقا در شرایط نامناسب مانند شوری و قلیاییت شدید خاک، گزینه مناسبی در تعدیل تنش‌های غیرزیستی و افزایش عملکرد محصول هستند (Eskandari Torbaghan, 2017).

جداسازی باکتری بهبوددهنده رشد از خاک و بررسی اثر آن بر رشد ذرت تحت تنش شوری نشان داد که استفاده از این باکتری‌ها سبب افزایش رشد گیاه ذرت، مقدار کلروفیل، افزایش مقدار قند محلول، پروتئین‌ها و سایر صفات رشدی ذرت در شرایط شوری خاک گردید و قابل استفاده به عنوان کود بیولوژیک بود (Khorshidi et al., 2024). Hamdia and El-Komy (1997) نشان داده‌اند که تلقیح ذرت با *آزوسپریلوم*[2] در شوری‌های زیاد حاصل از نمک کلرید سدیم افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل، پتاسیم و کلسیم، قندهای محلول و پروتئین نسبت به شاهد (تلقیح‌نشده) داشت. در پژوهشی با بررسی فرآیندهای تحمل به نمک کلرید سدیم و آثار برهمکنش تلقیح با *آزسپریلوم برازیلنس*[3] در ارقام ذرت رشد کرده در شرایط تنش شوری گزارش شد که تحمل به نمک کلرید سدیم در ارقام تلقیح‌شده افزایش یافته و موجب افزایش عملکرد ماده خشک، سطح برگ، قندهای کل و محلول، پروتئین محلول شاخساره و پروتئین کل ریشه در تیمارهای تحت تنش شوری شد (Hamdi et al., 2004). همچنین این پژوهشگران مشاهده کردند که تجمع پرولین در گیاهان تلقیح‌شده به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ با این حال تلقیح جذب سدیم را کاهش داد ولی جذب پتاسیم و کلسیم را افزایش داد. پژوهشگران گزارش کردند که تلقیح ذرت با *آزوسپریلوم برازیلنس* در شرایط شوری منتج به تکثیر ریشه‌های مویین و در نتیجه افزایش سطح ریشه شد (Molla et al., 2001). نتایج آزمایشی بر روی گیاه ذرت نشان داد که تلقیح با برخی از سویه‌های باکتری *سودوموناس* منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع، وزن ریشه و زیست‌توده کل ذرت در مقایسه با شاهد در شرایط شوری خاک شد. به نظر می‌رسد این سویه‌ها با کاهش میزان بازدارندگی اتیلن در ریشه‌ها موجب افزایش رشد ریشه گیاه شده و در نتیجه با بهبود آن، عملکرد و رشد ساقه را نیز افزایش دادند (Shaharoona et al., 2006). اخیراً مشخص شده است که رابطه مثبت و معنی‌داری بین فعالیت ACC دی‌آمیناز و طویل‌شدن ریشه ذرت به واسطه تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری وجود دارد. نتایج پژوهش‌های دیگر نشان داد که عملکرد دانه و رشد ریشه گیاهان تلقیح‌یافته با ریزوباکتری‌های محرک رشد به دلیل افزایش فعالیت ACC دی‌آمیناز بهبود می‌یابد (Glick et al.,1998; Belimov et al., 2002). Rohitashav-Singh et al. (1993) افزایش وزن خشک ذرت در اثر تلقیح با باکتری *ازتوباکتر* را در شرایط شوری گزارش دادند. پژوهشگران افزایش وزن ریشه ذرت در اثر تلقیح با *آزوسپریلوم برازیلنس* را نیز در شرایط شوری خاک گزارش کردند (Renato de Freitas, 2000). Tilak et al. (1982) اثر تلقیح *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* را بر مقدار ماده خشک شاخساره

1- Extremophiles
2- *Azospirillum*
3- *Azospirillum brasilense*

ذرت و سورگوم قابل توجه ذکر کردند. Besharati and Saleh Rastin (1999) در آزمایشی گلخانه‌ای گزارش نمودند که اثر چند سویه از باکتری‌های *تیوباسیلوس* بومی خاک‌های ایران موجب افزایش جذب فسفر و شاخص‌های مختلف رشد ذرت شد. Nourgholipour et al. (2000) در آزمایشی گلخانه‌ای تأثیر تلقیح باکتری‌های *تیوباسیلوس* و حل‌کننده فسفات از منبع خاک فسفات بر رشد ذرت را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین تیمارهای تلقیحی و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در یک آزمایش مزرعه‌ای، Nourgholipour et al. (2006) تأثیر تلقیح باکتری *تیوباسیلوس*، گوگرد و فسفات خاک بر رشد سویا در سال اول و آثار باقی‌مانده آن بر رشد ذرت را بررسی کردند. نتایج اثر تلقیح باکتری مذکور در این پژوهش چندان قابل توجه نبود. Iranipour et al. (2008) در یک پژوهش مزرعه‌ای آثار اصلی فسفات، گوگرد خاک و باکتری *تیوباسیلوس* بر شاخص‌های عملکرد محصول ذرت و آثار باقی‌مانده آن بر عملکرد جو را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تلقیح، تأثیری بر غلظت فسفر برگ، فسفر قابل جذب و عملکرد فسفر کل نداشته است اما تاثیر آن بر عملکرد خشک هر دو محصول معنی‌دار بود. Fallah Nosrat Abadi et al. (1999) در آزمایش‌های آزمایشگاهی و گلخانه‌ای گزارش کردند که باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات موجب افزایش معنی‌دار جذب مقدار کل پتاسیم و وزن خشک شاخساره ذرت شدند. Hamidi et al. (2009)، اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[4]) بر شاخص‌های رشد ذرت در مزرعه را معنی‌دار و قابل توجه ذکر نمودند.

از فرضیه‌های کنونی به اثبات رسیده این است که PGPR ها، به‌عنوان یکی از اجزای مورد استفاده در سیستم‌های مدیریت یک‌پارچه عناصر غذایی می‌توانند به کاهش برداشت عناصر غذایی از خاک‌های کود داده شده (کود شیمیایی) کمک کنند. این فرضیه در پژوهشی در یک مزرعه ذرت طی سه سال پژوهش مورد تأیید قرار گرفت (Adesemoye et al., 2008) که طی آن کاربرد PGPR با و بدون میکوریزا، کودهای آلی و معدنی و نیز با و بدون خاک‌ورزی بررسی شد. افزایش قابل‌توجهی در عملکرد دانه حاصل از تیمار میکروبی با افزایش در مقدار نیتروژن در وزن دانه و حذف برداشت مقادیر قابل‌توجهی از نیتروژن، فسفر و پتاسیم از خاک همراه بود؛ بنابراین در سیستم مدیریت یکپارچه عناصر غذایی مورد آزمایش، PGPR به صورت چشم‌گیری به کاهش برداشت عناصر غذایی در خاک کمک کرد.

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر جدایه‌های باکتریایی افراطی–پسند بومی خراسان رضوی (که دارای بیش‌ترین توانایی در تولید تری‌ایندول‌استیک اسید، انحلال فسفات‌های نامحلول و تولید اگزوپلی‌ساکارید خارجی بودند) بر عملکرد کل (دانه و زیست–توده)، اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) ذرت فوق شیرین (رقم الیکا) در سال ۱۴۰۳ در سه نوع خاک شور، قلیا و شور–قلیا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو بخش ۱) آزمایشگاهی، با اندازه‌گیری صفات محرک رشد گیاه شامل تولید تری‌ایندول‌استیک اسید[5] (IAA)، انحلال فسفات‌های نامحلول[6] (PSB) و تولید اگزوپلی‌ساکاریدها[7] (EPS)) و ۲) مزرعه‌ای، در سه آزمایش فاکتوریل مجزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در کرت‌هایی به ابعاد سه متر مربع اجرا گردید. هر آزمایش شامل دو عامل ۱) نوع باکتری، در سه گروه باکتری شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسند و ۲) سه جدایه بومی از هر کدام از گروه‌های مورد بررسی شورپسند (H22, H9, H5)، قلیاپسند (A16, A14, A11) و شورقلیاپسند (HA7, HA8, HA9)) به همراه دو شاهد (الف: محیط کشت بدون باکتری شامل سه نوع محیط کشت مورد استفاده برای هر یک از گروه‌ها که برای هر گروه جداگانه استریل شده و مورد استفاده قرار گرفتند و ب) آب به تنهایی) در نه تکرار در شرایط شوری و قلیاییت خاک در مزرعه بود. کشت

4- Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)
5- Tri-indoleacetic acid (IAA)
6- Soluble mineral phosphates (PSB)
7- Exopolysaccharides (EPS)

جدول ۱. مشخصه‌های جغرافیایی خاک‌های شور و قلیای نمونه‌برداری‌شده از استان خراسان رضوی

Table 1. Geographical characteristics of saline and alkaline soils sampled from Khorasan Razavi Province

منطقه Zone	مکان نمونه‌برداری Sampling location	مختصات نمونه‌برداری					ارتفاع از سطح دریا (متر) Height above sea level (m)
		جهت Direction	درجه Degree	دقیقه Minute		ثانیه Second	
۱	روستای سلیمانیه – جاده سبزوار قوچان Soleimanieh Village - Sabzevar Quchan Road	N■	36	15	10	37	1046
		E△	57	46	10	34	
۲	روستای کلاوش – بخش ششتمد سبزوار Kalash Village-Shishtamed sector of Sabzevar	N	36	02	38	74	1045
		E	57	46	33	24	
۳	روستای کیزور – بخش ششتمد Kizur Village - Shashtamed sector	N	35	59	28	85	1185
		E	57	45	03	49	
۴	روستای چهلپو – بخش کوه سرخ–کاشمر Chehelpo Village - Koh Sorkh sector - Kashmar	N	35	38	01	89	1783
		E	58	31	12	73	

■N جهت شمال (North direction)، △E جهت شرق (East direction)

در زمین اصلی به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد و تعداد ۳ کرت با ابعاد ۳ متر مربع (تعداد ۵ جوی با طول ۳ متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر) آماده شد.

اندازه‌گیری صفات محرک رشد گیاه در آزمایشگاه

به‌منظور جداسازی جدایه‌های شور، قلیا و شورقلیاپسند بومی، نمونه‌برداری خاک به‌صورت ساده از خاک چهار منطقه در استان خراسان رضوی (جدول ۱) از لایه ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر با شرایط (رسانایی الکتریکی بیش‌تر از $4\ dS\ m^{-1}$ و SAR محدوده ۸ تا ۱۲)، انجام شد. سپس، ضمن ثبت مشخصه‌های جغرافیایی مکان نمونه‌برداری با GPS، نمونه‌ها در ظروف استریل قرار گرفته و در مدت زمان کمتر از ۴۸ ساعت و در دمای ۴ درجه سلسیوس به آزمایشگاه منتقل شده و نگهداری شدند. جداسازی و خالص‌سازی تعداد ۵۵ جدایه از هر یک از گروه‌های شور، قلیا و شورقلیاپسند از نمونه‌های خاک توسط محیط کشت اختصاصی (جدول ۲) آن‌ها انجام شد. برای جداسازی (به‌دلیل غایی‌بودن محیط کشت این باکتری‌ها)، سوسپانسیون ۱:۱ از خاک و آب (یک گرم خاک به یک میلی‌لیتر آب مقطر استریل) تهیه شد (Horikoshi, 2006). میزان ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون فوق بر روی محیط کشت اختصاصی جامد پخش شد. محیط کشت‌ها در دمای مناسب (۳۵ تا ۳۷ درجه سلسیوس) به مدت ۳ تا ۷ روز، بسته به نوع ریزجانداران (شورپسند، قلیاپسند، شورقلیاپسند) گرماگذاری شدند. به‌ترتیب ۲۶ جدایه شورپسند توسط محیط کشت (Ventosa et al., 1998)، ۱۸ جدایه قلیاپسند توسط محیط کشت هوری‌کوشی (I) (Horikoshi, 2006) و ۱۱ جدایه شورقلیاپسند توسط محیط کشت اختصاصی (Jones et al., 1992) جداسازی شدند. پس از جداسازی، برای اطمینان از خالص بودن آنها، چندین مرتبه بازکشت شدند.

جدایه‌های خالص‌سازی‌شده (جدول ۳) برای نگهداری درازمدت به روش نیتروژن مایع (Horikoshi, 1999) ذخیره‌سازی شدند. پس از جداسازی، برای انتخاب برترین جدایه‌ها، برخی ویژگی‌های محرک رشد آن‌ها شامل تولید ایندول‌تری‌استیک‌اسید در جدایه‌ها و تکرارهای آن‌ها از روش سالکووسکی (Glickmann and Dessaux, 1995)، تولید اگزوپلی‌ساکارید خارجی به روش فنل–اسید سولفوریک (Ventosa et al., 2004)، سنجش کمّی توان حل فسفات‌های معدنی نامحلول، مشخصاً تری‌کلسیم فسفات[8] در شرایط آزمایشگاهی و به روش

8- Tri-calcium phosphate

جدول ۲. محیط کشت‌های اختصاصی جدایه‌های باکتریایی شور (Ventosa et al.,1998)، قلیا (Horikoshi, 2006) و شورقلیاپسند (Jones et al.,1992).

Table 2. Specific culture media for halophile (Ventosa et al., 1998), alkaliphile (Horikoshi, 2006) and haloalkaliphile bacterial isolates (Jones et al., 1992).

ترکیبات Compounds	مقدار (گرم بر لیتر) Amount ($g\ L^{-1}$)		
	شورپسند Halophile■	قلیاپسند Alkalophile	شورقلیاپسند Haloalkalophile
گلوکز Glucose	1	10	–
پلی پپتون Poly Peptone	–	5	–
عصاره مخمر Yeast extract	10	5	10
دی پتاسیم هیدروژن فسفات Dipotassium hydrogen phosphate	–	1	–
سولفات منیزیم هفت‌آبه Magnesium sulfate heptahydrate ($MgSO_4.7H_2O$)	9.6	0.2	1
کربنات سدیم Sodium carbonate	–	10*	18.5▲
کلرید سدیم Sodium chloride	81	–	200
کلرید منیزیم دوآبه Hydrated magnesium chloride ($MgCl_2.2H_2O$)	7	–	–
کلرید کلسیم Calcium chloride	0.36	–	–
کلرید پتاسیم Potassium chloride	2	–	2
بی‌کربنات سدیم Sodium hydrogen bicarbonate	0.06	–	–
برمید سدیم Sodium bromide	0.026	–	–
پروتئاز پپتون Protease Peptone	5	–	–
کازمینو اسید Casino acid	–	–	7.5
تری سدیم سیترات Trisodium citrate	–	–	3
کلرید منگنز آب‌دار Manganese (II) chloride	–	–	0.00036
سولفات آهن آب‌دار Ferrous sulfate	–	–	0.05
آگار Agar	15	20	20
رسانایی الکتریکی ($dS\ m^{-1}$) محیط کشت Electrical conductivity of the culture medium, $dS\ m^{-1}$	30.85	12.21	39.90
pH محیط کشت pH of culture medium	7.2	8.89	9.18

■ pH محیط کشت پیش از استریل‌سازی با KOH یک نرمال بر روی ۷/۲ تنظیم شد.

The pH of the culture medium was adjusted to 7.2 with 1 N KOH before sterilization.

▲ جداگانه از سایر مواد استریل گردیده و پیش از کشت جدایه‌ها به محیط کشت افزوده شد.

It was sterilized separately from other materials and added to the culture medium before culturing the isolates.

جدول ۳. مقایسه میانگین غلظت تری‌ایندول استیک اسید (IAA)، حلالیت فسفات‌های نامحلول (PSB) و اگزوپلی‌ساکارید (EPS) تولیدی در جدایه‌های باکتریایی شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسند.

Table 3. Means' comparison of the concentrations of tri-indoleacetic acid (IAA), solubility of insoluble phosphates, and exopolysaccharides (EPS) produced in halophilic, alkaliphilic, and haloalkaliphilic bacterial isolates

شورقلیاپسندها Haloalkaliphilic			شماره	قلیاپسندها Alkaliphilic			شماره	شورپسندها Halophilic			شماره
EPS (ppm)	PSB (ppm)	IAA (ppm)	جدایه	EPS (ppm)	PSB (ppm)	IAA (ppm)	جدایه	EPS (ppm)	PSB (ppm)	IAA (ppm)	جدایه
90.25 ^{ab}	0.0000 ^{h}	413.9 ^{a}	HA_1	101.8 ^{ab}	140.3 ^{f}	158.6 ^{k}	A_1	3.640 ^{n}	98.79 ^{b}	0.000 ^{j}	H_1
78.46 ^{bc}	13.89 ^{gh}	381.4 ^{b}	HA_2	135.4 ^{ab}	255.6 ^{b}	138.2 ^{l}	A_2	20.45 ^{h}	104.8 ^{a}	0.000 ^{j}	H_2
67.97 ^{cd}	0.0000 ^{h}	384.8 ^{b}	HA_3	93.73 ^{ab}	34.73 ^{k}	235.5 ^{i}	A_3	50.32 ^{a}	42.12 ^{gh}	0.000 ^{j}	H_3
71.71 ^{cd}	144.4 ^{b}	248.1 ^{e}	HA_4	50.70 ^{ab}	19.45 ^{l}	128.1 ^{l}	A_4	20.93 ^{g}	40.91 ^{gh}	0.000 ^{j}	H_4
64.54 ^{cd}	105.6 ^{d}	288.9 ^{c}	HA_5	114.7 ^{ab}	226.4 ^{c}	111.2 ^{m}	A_5	7.867 ^{l}	26.06 ^{j}	125.0 ^{c}	H_5
60.03 ^{d}	63.89 ^{e}	231.4 ^{f}	HA_6	128.8 ^{ab}	272.2 ^{a}	96.96 ^{m}	A_6	31.99 ^{e}	21.21 ^{klmn}	0.000 ^{j}	H_6
102.8 ^{a}	180.6 ^{a}	220.6 ^{fg}	HA_7	488.6 ^{ab}	251.4 ^{b}	1202 ^{d}	A_7	44.79 ^{c}	3.30 ^{p}	0.000 ^{j}	H_7
94.02 ^{ab}	122.2 ^{c}	280.6 ^{cd}	HA_8	0.0000 ^{b}	0.0000 ^{m}	105.1 ^{m}	A_8	5.183 ^{m}	45.15 ^{fg}	0.000 ^{j}	H_8
102.6 ^{a}	122.2 ^{c}	269.8 ^{d}	HA_9	189.7 ^{ab}	198.6 ^{d}	369.2 ^{f}	A_9	34.15 ^{d}	83.03 ^{c}	7.190 ^{i}	H_9
23.00 ^{e}	22.22 ^{g}	197.3 ^{h}	HA_{10}	143.3 ^{ab}	23.06 ^{c}	187.2 ^{j}	A_{10}	22.95 ^{f}	77.88 ^{d}	133.5 ^{b}	H_{10}
92.88 ^{ab}	38.89 ^{f}	213.1 ^{gh}	HA_{11}	572.8 ^{ab}	141.7 ^{ef}	1554 ^{b}	A_{11}	0.0000 ^{r}	56.67 ^{e}	14.97 ^{h}	H_{11}
-	-	-	-	469.5 ^{ab}	51.39 ^{j}	1355 ^{c}	A_{12}	0.5861 ^{qr}	25.76 ^{jk}	395.0 ^{a}	H_{12}
-	-	-	-	112.0 ^{ab}	44.45 ^{jk}	282.0 ^{h}	A_{13}	0.0000 ^{r}	20.91 ^{lmn}	0.000 ^{j}	H_{13}
-	-	-	-	311.7 ^{ab}	109.7 ^{g}	801.7 ^{e}	A_{14}	0.0000 ^{r}	0.0000 ^{p}	0.000 ^{j}	H_{14}
-	-	-	-	127.4 ^{ab}	73.61 ^{i}	290.2 ^{h}	A_{15}	4.319 ^{n}	18.79 ^{mno}	44.25 ^{f}	H_{15}
-	-	-	-	660.8 ^{a}	155.6 ^{e}	1815 ^{a}	A_{16}	11.60 ^{j}	21.21 ^{klmn}	0.000 ^{j}	H_{16}
-	-	-	-	0.0000 ^{b}	0.0000 ^{m}	0.0000^{n}	A_{17}	2.684 ^{o}	87.58 ^{c}	25.03 ^{g}	H_{17}
-	-	-	-	149.9 ^{ab}	90.28 ^{h}	338.1 ^{g}	A_{18}	1.586 ^{p}	45.15 ^{fg}	13.86 ^{h}	H_{18}
-	-	-	-	-	-	-	-	0.9255 ^{pq}	17.88 ^{no}	68.10 ^{e}	H_{19}
-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000 ^{r}	35.15 ^{i}	0.000 ^{j}	H_{20}
-	-	-	-	-	-	-	-	17.86 ^{i}	49.09 ^{f}	0.000 ^{j}	H_{21}
-	-	-	-	-	-	-	-	45.81 ^{b}	24.55 ^{jkl}	91.50 ^{d}	H_{22}
-	-	-	-	-	-	-	-	10.46 ^{k}	22.73 ^{jklm}	0.000 ^{j}	H_{23}
-	-	-	-	-	-	-	-	34.80 ^{d}	14.55 ^{o}	0.000 ^{j}	H_{24}
-	-	-	-	-	-	-	-	20.52 ^{h}	38.18 ^{hi}	0.000 ^{j}	H_{25}
-	-	-	-	-	-	-	-	22.15 ^{g}	23.64 ^{jkl}	15.23 ^{h}	H_{26}
0.0000 ^{f}	0.0000 ^{h}	0.0000 ^{i}	C	0.0000 ^{b}	0.0000 ^{m}	0.0000^{n}	C	0.0000 ^{r}	0.0000 ^{p}	0.000 ^{j}	C

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

C: Control (شاهد)

Sperber (1958) اندازه‌گیری و تعیین گردید. نتایج داده‌های آزمایشگاهی مربوط به مقادیر IAA، PSB و EPS تولیدی جدایه‌ها، به صورت جداگانه برای هر گروه (به دلیل نابرابر بودن تعداد جدایه‌های جداشده در هر گروه) و بر اساس طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه آماری شده و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ مقایسه شدند.

آزمون مزرعه‌ای جدایه‌های منتخب در مجاورت گیاه

در مرحله بعد، دو جدایه از بهترین جدایه‌های انتخاب‌شده از هر گروه (شور، قلیا و شورقلیاپسند) که بیش‌ترین توانایی تولید محرک‌های رشدی گیاه (IAA، PSB و EPS) را داشتند، انتخاب شده و به همراه دو شاهد (استریل یا محیط کشت بدون باکتری و آب) بر روی ذرت فوق شیرین (رقم الیکا) در شرایط مزرعه آزمایش شدند. این بخش پژوهش در سه آزمایش فاکتوریل جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) اجرا شد. هر آزمایش شامل دو عامل ۱) سه گروه باکتری (شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسند) و ۲) سه جدایه بومی از هر گروه به همراه دو شاهد مختلف در نه تکرار در شرایط سه نوع خاک شور، قلیا و شور–قلیا انجام شد.

در ابتدا، به‌منظور تهیه بستر کشت گیاه با توجه به ویژگی‌های جدایه‌های باکتریایی، دو ویژگی عمده شامل رسانایی الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) خاک مورد توجه قرار گرفت. پس از بازدیدهای میدانی در سطح استان، به‌دلیل فراهم نبودن خاک‌هایی با ویژگی‌های مد نظر از نظر شوری (EC) و قلیاییت (SAR)، سه نوع خاک با مقادیر مختلف EC و SAR و با ترکیب سه خاک اولیه (جدول ۴) با ویژگی‌های مختلف و نسبت‌های متفاوت و انجام آزمون و خطا تا رسیدن به مقادیر EC و SAR مورد نظر برای هر گروه از باکتری‌ها تهیه گردید (جدول ۵). مقادیر EC در خاک نهایی برای گروه شورپسندها، قلیاپسندها و شورقلیاپسندها به‌ترتیب برابر ۱۲/۵، ۲/۵۶ و ۳۴/۱ $dS\ m^{-1}$ و مقادیر SAR نیز به‌ترتیب برابر ۶/۵۶، ۱۴/۹۹ و ۱۹/۷۲ بود (جدول ۵).

بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده، سه خاک موردنظر برای ساخت خاک‌های ترکیبی شامل ۱) ماسه رودخانه‌ای، ۲) خاک روستای رحمانیه و ۳) خاک زراعی معمولی از منطقه کسرینه (مکان اجرای آزمایش) بود. ویژگی‌های سه خاک مورد استفاده به تفکیک در جدول (۴) ارائه شده است. پس از انتخاب این سه خاک و اندازه‌گیری ویژگی‌های آن‌ها، سه نوع خاک ترکیبی شور با شوری‌های مختلف (۲/۵۶، ۱۲/۵ و ۳۴/۱ $dS\ m^{-1}$) برای کشت ذرت و تلقیح جدایه‌های باکتری در سه گروه مختلف شور، قلیا و شورقلیاپسند به صورت زیر آماده شد. در ابتدا ماسه رودخانه‌ای با خاک زراعی مکان اجرا (کسرینه) به نسبت ۱:۱ حجمی مخلوط گردید و سپس از این خاک مخلوط، خاک‌های شور ترکیبی با نسبت‌های زیر تهیه شدند: ۱) ۱۵ واحد خاک مخلوط با ۱ واحد خاک روستای رحمانیه برای ساخت خاک شور با رسانایی الکتریکی ۲/۵۶ دسی‌زمینس بر متر، ۲) ۲ واحد خاک مخلوط با ۲/۵ واحد خاک روستای رحمانیه برای ساخت خاک شور با رسانایی الکتریکی ۱۲/۵ دسی‌زمینس بر متر، ۳) ۱ واحد خاک مخلوط با ۴ واحد خاک روستای رحمانیه برای ساخت خاک شور با رسانایی الکتریکی ۳۴/۱ دسی‌زمینس بر متر. برخی ویژگی‌های خاک‌های ترکیبی که به عنوان بستر کشت در هریک از گروه‌ها مورد استفاده قرار گرفت در جدول (۵) ارائه شده است. تعداد ۳ کرت با ابعاد ۳ متر مربع (تعداد ۵ جوی با طول ۳ متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر) برای هر یک از گروه‌های باکتری آماده شد. پس از مشخص‌کردن ابعاد کرت‌ها، در مکان استقرار هر گیاهچه، خاک با ابعاد ۳۰ × ۳۰× ۳۰ سانتی‌متر با خاک ترکیبی مورد نظر پر گردید. در حقیقت، خاک کرت‌ها تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک ترکیبی دست‌ساز (جدول ۵) تعویض گردید.

تا آماده شدن زمین و دمای مناسب کشت، بذر ذرت رقم فوق شیرین الیکا در سینی‌های کشت و در بستر بدون شوری تحت شرایط آزاد و هوای بیرون کشت شده و سپس در مرحله ۳ تا ۴ برگی به زمین اصلی منتقل شدند. کشت در زمین اصلی به‌صورت جوی و پشته‌ای انجام شد و تلقیح جدایه‌ها توسط محیط کشت تازه باکتریایی مایع هر جدایه در هر گروه باکتری به ریشه‌های نشاهای ذرت در هنگام انتقال از بستر اولیه به خاک‌های ترکیبی با مقدار ۵۰ میلی‌لیتر صورت گرفت (Astaraei and Farid Hosseini, 2012). همچنین تلقیح برای هر بوته با افزودن مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر از محیط کشت تازه باکتریایی مایع با جمعیتی در حدود 10^7 تا 10^8 سلول در هر میلی‌لیتر در تشتک ایجادشده در پای هر بوته‌ی ذرت انجام شده و سپس با مقدار ۴۵ لیتر آب در هر متر مربع (تقریباً برابر پنج لیتر آب به‌ازای هر بوته) با دور

جدول ۴. موقعیت مکانی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سه خاک مورد استفاده برای بستر کشت

Table 4. Location and some physical and chemical properties of three soils used for planting media

ردیف No.	ویژگی Property	واحد Unit	ماسه رودخانه‌ای River sand	روستای رحمانیه Rahmaniyeh Village	خاک زراعی محل اجرا Agricultural soil at the study site
1	شن Sand	%	99.4	70.7	70.4
2	سیلت Silt	%	0.6	16.9	24.6
3	رس Clay	%	0.0	12.4	5.0
4	بافت خاک Soil texture	–	Sand	Sandy Loam	Sandy loam
5	واکنش pH	–	8.55	7.90	8.10
6	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity	$dS\ m^{-1}$	0.54	60.32	1.18
7	نیتروژن کل Total nitrogen	%	0.019	0.023	0.03
8	فسفر قابل دسترس Available phosphorous	$mg\ L^{-1}$	0.16	2.65	7.86
9	پتاسیم قابل دسترس Available potassium	$mg\ L^{-1}$	2.70	11.25	15.53
10	کربن آلی Organic carbon	%	0.22	0.27	0.35
11	سدیم Sodium	$meq\ L^{-1}$	0	526.99	0
12	نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio	$(meq\ L^{-1})^{0.5}$	0	85.47	0

جدول ۵. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سه خاک ترکیبی ساخته‌شده برای بستر کشت

Table 5. Some physical and chemical properties of three composite soils made for planting beds

ردیف No	ویژگی Property	واحد Unit	EC= 2.56 $dS\ m^{-1}$	EC= 12.5 $dS\ m^{-1}$	EC= 34.1 $dS\ m^{-1}$
1	شن Sand	%	72.8	64.8	62
2	سیلت Silt	%	18	22	21
3	رس Clay	%	9.2	13.2	17
4	بافت خاک Soil texture	–	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
5	واکنش pH	–	8.35	7.17	8.72
6	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity	$dS\ m^{-1}$	2.56	12.5	34.1
7	نیتروژن کل Total nitrogen	%	0.0247	0.0159	0.0324
8	فسفر قابل دسترس Available phosphorous	$mg\ L^{-1}$	0	6.72	0
9	پتاسیم قابل دسترس Available potassium	$mg\ L^{-1}$	6.97	6.97	5.47
10	کربن آلی Organic carbon	%	0.287	0.185	0.375
11	سدیم Sodium	$meq\ L^{-1}$	124.0	71	200
12	نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio	$(meq\ L^{-1})^{0.5}$	14.99	6.56	19.72

آبیاری ۴ روز، آبیاری شد (Rashidi et al., 2013). همچنین بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در مرحله آزمایشگاهی مبنی بر تعیین ویژگی‌های محرک رشد گیاه برای بررسی آثار جدایه‌ها در مجاورت نشاءها و جلوگیری از تداخل آثار آن‌ها، هیچ نوع کودی اعم از شیمیایی یا حیوانی در طول دوره رشد مصرف نشد.

پس از گذشت چهار ماه از تلقیح باکتری‌ها، تمامی بوته‌ها از سطح خاک برداشت شده، و ضمن اندازه‌گیری برخی صفات رشدی آن‌ها از جمله ارتفاع بوته، قطر، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، وزن تازه و خشک شاخساره نیز تعیین گردید. وزن تازه شاخساره شامل برگ‌ها و ساقه‌ها بود؛ و وزن بلال به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد. وزن خشک و درصد رطوبت از قرارگیری در آون در دمای ۷۲ درجه سلسیوس و به مدت ۴۸ ساعت نیز تعیین و محاسبه شد (Emami, 1996). سپس کلیه بخش‌ها توسط آسیاب صنعتی خرد شدند و نمونه‌های مخلوط خردشده برای اندازه‌گیری برخی عناصر غذایی کم‌مصرف شامل آهن، روی، منگنز و مس به آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی ارسال گردیدند. تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نه تکرار با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین برای سه گروه باکتری نشان داد بیش‌ترین اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، طول و قطر ساقه و وزن تک بوته در شورقلیاپسندها و کم‌ترین آن در قلیاپسندها مشاهده شد (جدول ۶). ولی بیش‌ترین وزن خوشه (جدول ۶) و عملکرد ($۲/۴۴۳ kg m^{-2}$) در شورپسندها و کم‌ترین آن در قلیاپسندها ($۱/۸۵۸ kg m^{-2}$) به‌دست آمد (جدول ۶). عملکرد بیشتر ذرت در جدایه‌های شورپسند احتمالاً به‌دلیل شوری خاک کمتر ($۱۲/۵ dS m^{-1}$) آن در مقایسه با جدایه‌های شورقلیاپسند ($۳۴/۱ dS m^{-1}$) بود. پژوهش‌های Eskandari Torbaghan et al. (2024) نشان داد باکتری‌های شورپسند نسبت به باکتری‌های قلیاپسند و شورقلیاپسند کارایی بیشتری به‌ترتیب برابر با ۳۴/۵، ۳۳/۳ و ۳۲/۲ درصد در جذب عناصر پرمصرف، و نیز جذب کمتر یون‌های سمّی کلرید و سدیم (به‌ترتیب با ۷۲/۳، ۶۵/۳ و ۶۲/۴ درصد) برای پایه GN15 بادام نشان دادند. روند غلظت عناصر کم‌مصرف آهن و منگنز تحت تاثیر نوع باکتری مشابه بود، چنانکه بیش‌ترین غلظت آهن و منگنز به‌ترتیب با ۱۴۵/۴ و $۳۴/۶۰ mg kg^{-1}$ در قلیاپسندها و حداقل غلظت در باکتری‌های شورپسندها به‌ترتیب با ۸۸/۴۰ و $۲۹/۲۰ mg kg^{-1}$ برای آهن و منگنز بدست آمد (جدول ۶). مقایسه مقادیر غلظت دو عنصر روی و مس تحت تأثیر نوع باکتری، روند معکوسی نشان داد (جدول ۶). روی، مانند بسیاری از عناصر کم‌مصرف، هنگامی که میانگین pH کم باشد، افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش روی با کاهش pH رخ می‌دهد، که با توجه به افزایش pH محیط رشد باکتری‌ها (به‌ترتیب برای شور > قلیا > شورقلیاپسند)، غلظت روی در شورپسندها بیش‌ترین بود (جدول ۶). دو عنصر روی و مس به لحاظ شیمیایی معکوس هم هستند (Bahar Kazemi, 2024). در اغلب گیاهان زراعی سطح بالای مس با جذب روی در گیاه و گاهی اوقات مولیبدن و یا آهن رقابت می‌کند. با افزایش غلظت مس، رشد قسمت‌های جدید در ابتدا سبزتر از حد طبیعی است، ولی پس از مدتی علائم کمبود روی یا احتمالاً سایر نقایص عناصر کم‌مصرف همانند آهن را نشان می‌دهد (Bani Hashemi, 2015). تأثیر باکتری‌های ریزوسفری شور، قلیا و شورقلیاپسند بر غلظت عناصر غذایی برگ در بادام پایه GN15 نیز نشان داد (Eskandari Torbaghan et al., 2024) که روند افزایش غلظت روی برگ به‌ترتیب در قلیاپسند، شورقلیاپسند و شورپسندها تحت تأثیر باکتری‌ها مشابه با مقادیر کمّی تولید محرک‌های رشد (IAA، PSB و EPS) در شرایط آزمایشگاه در هر دسته از باکتری‌ها بود و با افزایش غلظت تولیدی این محرک‌ها، غلظت روی برگ نیز افزایش یافت. درحالی‌که افزایش غلظت عناصر پرمصرف منیزیم، فسفر و پتاسیم برگ تحت تأثیر تغییر pH محیط باکتری‌ها و نه تولید محرک‌های

جدول ۶. مقایسه میانگین تاثیر نوع باکتری بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در ذرت

Table 6. Means' comparison for the effect of bacteria type on some yield components, yield and concentration of micronutrients in corn

تیمار Treat.	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تک‌بوته Weight of a plant	تعداد خوشه در گیاه Number of clusters per plant	وزن تک‌خوشه Weight of a cluster	عملکرد ذرت Corn yield	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper
واحد Unit	–	–	cm	cm	g	-	g	kg m^{-2}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
شورپسند Halophile	2.964 b	12.72 b	13.79 b	102.1 a	428.0 b	4.601 a	85.15 b	2.443 a	88.40 c	29.20 b	59.60 a	6.400 c
قلیاپسند Alkaliphile	3.224 a	11.72 c	11.01 c	96.33 c	405.3 b	4.066 b	91.62 a	1.858 c	145.4 a	34.60 a	56.40 b	9.200 b
شورقلیاپسند Haloalkaliphile	3.192 a	18.55 a	14.28 a	104.3 a	464.0 a	3.996 b	67.49 c	2.054 b	109.2 b	33.80 a	50.20 c	10.40 a

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

رشد توسط آن‌ها و به‌ترتیب در شورپسندها، قلیاپسندها و شورقلیاپسندها مشاهده شد. یافته‌های Eskandari Torbaghan et al. (2024) نشان داد بسته به مقدار و الکتروشیمی آن عنصر، غلظت برخی عناصر تحت‌تأثیر غیرمستقیم باکتری و از راه تأثیر آن به‌عنوان مثال در برخی جدایه‌های قلیاپسند بر فاکتورهای محیطی اطراف خود همانند pH محیط و در برخی عناصر به‌طور مستقیم تحت‌تأثیر محرک‌های رشدی تولیدشده توسط باکتری‌ها بود. به‌طورکلی غلظت نیتروژن، فسفر، منیزیم و روی برگ به‌ترتیب ۲، ۸، ۱/۴ و ۱/۸ برابر حدود بهینه همین عناصر در برگ بادام بود که احتمالاً نشان‌دهنده توان زیاد باکتری‌های افراطی‌پسند بومی در فراهمی این عناصر در شرایط تنش شوری و سدیم زیاد خاک بود (Eskandari Torbaghan et al., 2024).

ارزیابی جدایه‌های شورپسند به کارگرفته شده نشان داد جدایه H22 بیش‌ترین کارایی، در افزایش صفات رشدی و غلظت عناصر کم‌مصرف را داشت (جدول ۷) ولی بیشترین عملکرد ذرت در شورپسندها با مقدار $kg\ m^{-2}$ ۳/۸۷۹ در جدایه H5 و سپس در جدایه H22 با مقدار $kg\ m^{-2}$ ۲/۷۱۵ تعیین شد (جدول ۷). به‌کارگیری جدایه‌های شورپسند H22، H9، H5 و شاهد بدون باکتری (HC) موجب افزایش به‌ترتیب ۴۲/۸، ۲۴/۸، ۵۹/۹ و ۲۲/۴ درصد عملکرد ذرت نسبت به مصرف شاهد آب به تنهایی، و مصرف سه جدایه شورپسند H22، H9 و H5 موجب افزایش ۲۶/۲، ۳/۰ و ۴۸/۳ درصد عملکرد نسبت به بکارگیری محیط کشت بدون باکتری‌ها شدند. این نتایج نشان داد که به‌ترتیب ۱۶/۶، ۲۱/۸ و ۱۱/۶ درصد افزایش عملکرد تنها ناشی از به‌کارگیری جدایه‌های شورپسند بود و ارتباطی با آثار تغذیه‌ای (در صورت وجود) در محیط کشت‌ها نداشت. این یافته‌ها شاید نشان‌دهنده کارایی و توان این باکتری‌ها در محیط پیرامونی و فراهمی عناصر غذایی و تولید محرک‌های رشدی برای گیاه در شرایط شوری و قلیاییت است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش عملکرد شاخساره گیاهان می‌شود؛ البته افزایش عملکرد زیست‌توده بسته به پتانسیل میکروبی از یک باکتری به باکتری دیگر و در شرایط مختلف، متفاوت است (Emami et al., 2020).

بیشینه غلظت عناصر منگنز، روی و مس به‌ترتیب با مقادیر ۳۴، ۷۵ و ۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جدایه H22 مشاهده شد (جدول ۷). ولی بیش‌ترین غلظت آهن بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد بدون باکتری (شاهد استریل) و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جدایه H9 تعیین شد (جدول ۷). به‌طورکلی، غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف مورد بررسی به استثنا عنصر روی در این پژوهش نسبت به شاهد استریل و آب چندان تحت تأثیر جدایه‌های شورپسند قرار نگرفتند. پژوهش‌های پیشین نیز اثر مشخص باکتری‌های شورپسند در افزایش غلظت روی در بادام را نشان دادند (Eskandari Torbaghan et al., 2024). شاید بتوان عنوان نمود که آثار برهمکنش باکتری‌ها، خاک و گیاه به‌ویژه در جذب و فراهمی برخی عناصر غذایی کم‌مصرف (با مقادیر اندک در خاک) بسیار پیچیده بوده و علاوه بر آن باید رقابت این دسته از باکتری‌ها با سایر ریزجانداران خاک را نیز به این آثار افزود. قابلیت جذب آهن، روی، مس و منگنز در کلزا در اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد (Akhavan et al., 2010).

بررسی جدایه‌های قلیاپسند نشان داد که به استثنا ارتفاع و قطر ساقه، تقریباً تمامی صفات اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی آهن، منگنز، روی و مس نسبت به شاهد بدون باکتری کاهش نشان دادند (جدول ۸). باکتری‌های قلیاپسند در محدوده pH بین ۹ تا ۱۱/۵، pH خود را حدود ۹/۵ حفظ می‌کنند. این باکتری‌ها با سامانه‌های انتقال پروتون در غشای سیتوپلاسمی (پمپ ATP و تعویض‌کننده سدیم با پروتون) به فعالیت خود ادامه می‌دهند (Horikoshi, 1999). در پژوهشی (Eskandari Torbaghan, 2017) با بررسی صفات رشدی سه نوع باکتری شور، قلیا و شورقلیاپسند در شرایط آزمایشگاهی مشاهده شد که مقایسه مقدار pH در جدایه‌های قلیاپسند نشان‌دهنده شرایط قلیایی حاکم بر محیط کشت و تغییر pH محیط کشت بود (مقدار pH در شاهد برابر ۸/۷ بود). رشد هیچ‌یک از باکتری‌ها در محدوده pH اسیدی و خنثی رخ نداد و جدایه A9 با مقدار ۷/۵،

جدول ۷. مقایسه میانگین تاثیر جدایه‌های شورپسند بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در ذرت

Table 7. Means' comparison for the effect of halophile isolates on some yield components, yield and concentration of micronutrients in corn

مس Copper	روی Zinc	منگنز Manganese	آهن Iron	عملکرد ذرت Corn yield	وزن تک‌خوشه Weight of a cluster	تعداد خوشه در گیاه Number of clusters per plant	وزن تک‌بوته Weight of a plant	ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته Number of secondary branches per plant	تیمار Treat.
mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	kg m^{-2}	g	-	g	cm	cm	–	–	واحد unit
9 ^{a}	75 ^{a}	34 ^{a}	63 ^{d}	1.553 ^{d}	105.4 ^{a}	3.89 ^{d}	520 ^{a}	107.2 ^{a}	15.50 ^{a}	9.89 ^{d}	2.89 ^{b}	H22
4 ^{b}	61 ^{b}	24 ^{b}	100 ^{ab}	2.066 ^{c}	61.60 ^{e}	4.00 ^{d}	330 ^{b}	98.86 ^{d}	14.81 ^{b}	13.0 ^{b}	3.14 ^{ab}	H9
2 ^{b}	76 ^{a}	30 ^{ab}	80 ^{c}	3.879 ^{a}	95.75 ^{b}	5.75 ^{a}	460 ^{a}	102.8 ^{c}	14.30 ^{c}	15.25 ^{a}	3.13 ^{ab}	H5
8 ^{a}	26 ^{c}	29 ^{ab}	102 ^{a}	2.003 ^{c}	90.96 ^{c}	4.44 ^{c}	500 ^{a}	103.3 ^{b}	13.33 ^{d}	13.33 ^{b}	3.22 ^{a}	HC
9 ^{a}	60 ^{b}	29 ^{ab}	97 ^{b}	2.715 ^{b}	72.04 ^{d}	4.923 ^{b}	330 ^{b}	98.44 ^{e}	11.00 ^{e}	12.11 ^{c}	2.44 ^{c}	C

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

H: شورپسند (Halophile)

جدول ۸ مقایسه میانگین تاثیر جدایه قلیاپسند بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در ذرت

Table 8. Means' comparison for the effect of alkaliphile isolates on some yield components, yield and concentration of micronutrients in corn

تیمار	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تک‌بوته Weight of a plant	تعداد خوشه در گیاه Number of clusters per plant	وزن تک‌خوشه Weight of a cluster	عملکرد ذرت Corn yield	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper
واحد	–	–	cm	cm	g	-	g	kg m^{-2}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
A16	3 ^{cd}	11.14 ^{c}	13.57 ^{a}	100 ^{b}	506.7 ^{a}	4.43 ^{b}	109.9 ^{b}	1.982 ^{b}	158 ^{b}	35 ^{ab}	58 ^{b}	4 ^{c}
A14	2.75 ^{d}	8.25 ^{d}	8.06 ^{e}	87.50 ^{d}	240 ^{c}	3.88 ^{c}	58.33 ^{e}	2.245 ^{a}	157 ^{b}	35 ^{ab}	41 ^{c}	8 ^{b}
A11	3.22 ^{bc}	11.67 ^{b}	12.11 ^{b}	93.11 ^{c}	320 ^{bc}	2.56 ^{e}	71.10 ^{d}	1.173 ^{d}	127 ^{c}	32 ^{b}	41 ^{c}	9 ^{b}
AC	3.71 ^{a}	16.43 ^{a}	11.21 ^{c}	100.1 ^{b}	570 ^{a}	6.57 ^{a}	131.1 ^{a}	2.194 ^{a}	183 ^{a}	38 ^{a}	102 ^{a}	12 ^{a}
C	3.44 ^{ab}	11.11 ^{c}	10.11 ^{d}	100.9 ^{a}	390 ^{b}	2.89 ^{d}	87.74 ^{c}	1.695 ^{c}	102 ^{d}	33 ^{b}	40 ^{c}	13 ^{a}

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

A: قلیاپسند (Alkaliphile)

کم‌ترین مقدار pH را به خود اختصاص داد (Eskandari Torbaghan, 2017). در همان پژوهش بررسی مقدار رسانایی الکتریکی جدایه‌ها نیز نشان داد که رشد آن‌ها در محیط کشت، تأثیر اندکی بر رسانایی الکتریکی محیط رشد داشت، به‌طوری‌که مقدار رسانایی الکتریکی در نمونه شاهد برابر ۱۰/۴ $dS\ m^{-1}$ بود. شاید تأثیر کم‌تر جدایه‌های قلیاپسند مورد بررسی بر افزایش رشد گیاه ذرت، به‌دلیل نبود تناسب محیط تلقیح و رشدشان به‌منظور افزایش صفات رشدی گیاه ذرت بود. از ویژگی‌های بارز جدایه‌های *باسیلوس* قلیاپسند این است که برای بسیاری از آن‌ها یون‌های سدیم به‌منظور رشد و تحرک مورد نیـاز اسـت. Horikoshi and Kitada (1997) نشان دادند که حضور کلرید سدیم نقش مهمی در سازوکار انتقال فعال اسید آمینه به درون سلول‌های قلیاپسندها بازی می‌کند. در برخی از جدایه‌های *باسیلوس* قلیاپسند، یون‌های پتاسیم (K^+) می‌تواننـد جایگزینـی، بـرای یون‌های سدیـم باشند (Horikoshi, 2006). همچنین نیاز به سدیم در فرآیند تمایز، تولید اسپور و جوانه‌زنی جدایه‌های قلیاپسند مشاهده و تأیید شده است (Horikoshi, 2006). میانگین مقادیر پتانسیل اسمزی، کل مواد جامد محلول و غلظت به‌ترتیب ۴/۳۹- بار، ۰/۷۸۱۵ درصد، ۱۲۲/۱۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر برای جدایه‌های قلیاپسند مورد بررسی بود (Eskandari Torbaghan, 2017). در پژوهش حاضر احتمالاً غلظت یون سدیم به حدی که موجب فعالیت زیاد جدایه‌های قلیاپسند گردد، نبود.

جدایه A16 با ۱۳/۵۷ سانتی‌متر قطر بیش‌ترین قطر ساقه را نشان داد (جدول ۸). جدایه A14 نیز بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد بدون باکتری و با مقدار $2/245\ kg\ m^{-2}$ بیش‌ترین عملکرد را در بین جدایه‌های قلیاپسند به خود اختصاص داد (جدول ۸). بررسی باکتری قلیاپسند مقاوم به شوری *پلانوکوکوس رایفی‌تونسس*[9] نشان داد که این باکتری تولید کننده IAA (۲۶۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر)، توانایی انحلال فسفات‌های معدنی (۱۶/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) و فعالیت ACC دی‌آمیناز (استفاده از ACC به‌عنوان منبع نیتروژن در شوری ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و دارای پتانسیل بهبود در رشد گندم بود (Rajput et al., 2013). تلقیح این باکتری به گندم موجب افزایش رشد ۳۷ درصدی گیاه گندم تحت تنش شوری، ۶۳ درصد انحلال تری-کلسیم فسفات و بیش از ۶۰ درصد فعالیت ACC دی‌آمیناز در حضور ACC گردید (Rajput et al., 2013).

بررسی اجزای عملکرد بر جدایه‌های شورقلیاپسند نشان داد جدایه HA9 با میانگین ۳/۶۳ عدد شاخه جانبی، ۱۱۰/۶ سانتی‌متر ارتفاع گیاه و ۵۱۰ کیلوگرم وزن تک‌بوته و جدایه HA8 با میانگین تعداد خوشه ۴/۴۴، وزن تک‌خوشه ۹۶/۶۳ گرم و عملکرد $2/825\ kg\ m^{-2}$ برترین جدایه‌های شورقلیاپسند شناخته شدند (جدول ۹). روند مشخصی برای غلظت هریک از عناصر کم‌مصرف مورد بررسی مشاهده نشد (جدول ۹). در مجموع، مقایسه جدایه‌ها با یکدیگر و شاهد استریل نشان داد که جدایه HA8 میانگین بیشتری از غلظت عناصر کم‌مصرف آهن ($127\ mg\ kg^{-1}$)، منگنز ($30\ mg\ kg^{-1}$)، روی ($59\ mg\ kg^{-1}$) و مس ($16\ mg\ kg^{-1}$) را داشت (جدول ۹). رقابت برای منابع یا تولید مواد سمّی توسط برخی باکتری‌ها می‌تواند بر رشد و برهمکنش سایر گروه‌ها با محیط خود اثرگذار باشد (Yavari, 2024). نیازهای رشدی باکتری‌ها در محیط شامل منبع انرژی (ترکیبات آلی، معدنی و نور خورشید)، منبع کربن (ترکیبات آلی، معدنی مانند دی‌اکسید کربن و بی‌کربنات‌ها)، پذیرنده الکترون (اکسیژن ترکیبات آلی، اکسیژن ترکیبات معدنی مانند سولفات‌ها، نیترات‌ها و دی‌اکسید نیتروژن) و در نهایت مواد مغذی مانند نیتروژن، فسفر و سایر عناصر کمیاب می‌باشند که در شرایط تغذیه و رشد جمعیت‌های میکروبی مخلوط (Yavari, 2024) مانند کاربرد انواع افراطی‌پسندها در شرایط خاکی، در پژوهش حاضر، می‌تواند موجب رشد متفاوت گروه‌ها و رقابت بین آن‌ها گردد. بهبود برخی صفات رشدی و بیوشیمیایی بادام با استفاده از باکتری‌های ریزوسفری شور، قلیا و شورقلیاپسند در بادامستان‌های خراسان رضوی (Khalili Torghabe et al., 2022) نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه (۶۱/۲ cm) در گروه شورپسندها و کم‌ترین آن در

9- *Planococcus rifietoensis*

جدول ۹. مقایسه میانگین تاثیر جدایه شورقلیاپسند بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در ذرت

Table 9. Means' comparison for the effect of haloalkaliphle isolates on some yield components, yield and concentration of micronutrients in corn

تیمار	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تک‌بوته Weight of a plant	تعداد خوشه در گیاه Number of clusters per plant	وزن تک‌خوشه Weight of a cluster	عملکرد ذرت Corn yield	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper
واحد	–	–	cm	cm	g	-	g	kg m^{-2}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
HA7	3.11 ^{bc}	16.67 ^{d}	15.61 ^{b}	110.1 ^{b}	500 ^{b}	4.44 ^{a}	70.18 ^{b}	1.765 ^{d}	121 ^{b}	35 ^{b}	63 ^{ab}	8 ^{c}
HA8	3.00 ^{c}	16.89 ^{d}	12.94 ^{d}	107.9 ^{c}	560 ^{a}	4.44 ^{a}	96.63 ^{a}	2.825 ^{a}	127 ^{a}	30 ^{c}	59 ^{b}	16 ^{a}
HA9	3.63 ^{a}	19.63 ^{b}	10.88 ^{e}	110.6 ^{a}	510 ^{ab}	2.88 ^{c}	55.80 ^{d}	1.200 ^{e}	87 ^{c}	29 ^{c}	35 ^{c}	12 ^{b}
HAC	2.89 ^{c}	17.67 ^{c}	13.78 ^{c}	100.3 ^{d}	360 ^{c}	4.00 ^{b}	58.90 ^{c}	2.170 ^{c}	87 ^{c}	32 ^{bc}	64 ^{a}	12 ^{b}
C	3.33 ^{b}	21.89 ^{a}	18.17 ^{a}	92.72 ^{e}	390 ^{c}	4.22 ^{ab}	55.93 ^{d}	2.309 ^{b}	124 ^{ab}	43 ^{a}	30 ^{d}	4 ^{d}

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

HA: شورقلیاپسند (Haloalkaliphile)

گروه قلیاپسندها مشاهده شد. باکتری‌های شورپسند بیش‌ترین افزایش را در وزن تازه شاخساره موجب شدند، ولی وزن تازه ریشه‌ها در گروه باکتری‌های شورقلیاپسند بیشترین بود. نسبت وزن تازه شاخساره به ریشه‌ها به‌ترتیب برای سه گروه شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسندها برابر ۸۶/۰، ۸۷/۰ و ۷۴/۰ بود که بیان‌گر تأثیر بیش‌تر باکتری‌های شورقلیاپسند بر رشد ریشه‌ها نسبت به رشد شاخساره بود. تلقیح باکتری‌های شورقلیاپسند موجب افزایش درصد رطوبت ریشه‌ها و شاخساره در خاک‌های با شوری زیاد (به‌ترتیب ۱۶ و ۸ $dS\ m^{-1}$) گردید. به‌طورکلی، باکتری‌های شورقلیاپسند بر بهبود رشد ریشه‌ها، قلیاپسندها و شورپسندها به‌ترتیب بر افزایش صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی بادام تأثیر بیش‌تری داشتند (Khalili Torghabe et al., 2022).

بررسی آثار دسته باکتری و نوع جدایه آن نشان داد که به‌ترتیب جدایه‌های شورقلیاپسند بر اجزای عملکرد و شورپسندها بر عملکرد تاثیر بیشتری داشتند (جدول ۱۰). میانگین مجموع عملکرد جدایه‌ها در باکتری‌های شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسند به‌ترتیب برابر ۲/۴۴۳، ۱/۸۵۷ و ۲/۰۵۳ $kg\ m^{-2}$ (جدول ۱۰) بود. بررسی عناصر غذایی تحت تأثیر نوع باکتری و نوع جدایه نشان داد که به‌کارگیری شاهد استریل در محیط کشت قلیاپسندها (جدول ۲)، بیشترین غلظت آهن (۱۸۳ $mg\ kg^{-1}$) و روی (۱۰۲ $mg\ kg^{-1}$) را نشان داد. همچنین غلظت منگنز با مقدار ۴۳ $mg\ kg^{-1}$ در تیمار شاهد آب به تنهایی بیشینه بود (جدول ۱۰). در خاک‌های شور و سدیمی، حلالیت عناصر کم‌مصرف مانند آهن، مس، روی و منگنز معمولاً کم بوده و گیاهانی که در این خاک‌ها رشد می‌کنند اغلب از نظر این عناصر دچار کمبود می‌شوند. البته در مواردی نیز این عناصر در حد کافی برای گیاه وجود دارند (Khoshgoftar Manesh and Siadat, 2002). بنابراین میزان کمبود عناصر غذایی بسته به نوع گیاه، نوع بافت گیاهی، سطح شوری، شرایط رشد، غلظت عناصر کم‌مصرف در محیط رشد، نوع ترکیب بستر گیاه و طول دوره شوری متفاوت است (Page et al., 1999). به طورکلی رابطه بین شوری و عناصر کم‌مصرف بسیار پیچیده بوده و شوری ممکن است غلظت عناصر کم‌مصرف را کاهش و یا افزایش داده و یا اثری بر آن نداشته باشد (Grattan and Grieve, 1999). علاوه براین پیچیدگی، عدم‌قطعیت فراوانی در روابط ریزجانداران با یکدیگر و گیاه به‌ویژه در خاک‌های شور–قلیا را نیز باید به آن افزود.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی مقایسه روند و مقایشه میانگین صفات تحت تاثیر تلقیح انواع جدایه‌های باکتریایی نشان داد که میانگین مقادیر اجزای عملکرد در ذرت به‌ترتیب در شورقلیاپسندها > شورپسندها > قلیاپسندها، مقدار عملکرد به‌ترتیب در شورپسندها > شورقلیاپسندها ≈ قلیاپسندها و میانگین غلظت عناصرکم‌مصرف مورد بررسی به‌ترتیب زیر تحت تأثیر شورقلیاپسندها > قلیاپسندها > شورپسندها بود. عملکرد بلال ذرت فوق شیرین رقم الیکا برابر ۱۵ تا ۱۷ تن در هکتار در شرایط غیرشور عنوان شده است. میانگین عملکرد در تیمارهای باکتری‌های شورپسند، قلیاپسند و شورقلیاپسند به‌ترتیب برابر ۲۴/۴، ۱۸/۶ و ۲۰/۵ تن در هکتار به‌ترتیب در خاک‌هایی با شوری ۱۲/۵، ۲/۵۶ و ۳۴/۱ $dS\ m^{-1}$ شوری و SAR ۶/۵۶، ۱۴/۹۹ و ۱۹/۷۲ بود که نشان‌دهنده توان و کارایی زیاد این باکتری‌ها بود. شاید عدم مشاهده روندی مشخص و قوی در غلظت عناصر کم‌مصرف به‌ویژه منگنز، روی و مس به‌دلیل پیچیدگی برهمکنش‌های ریزجانداران، خاک و گیاه از یک سو و کم‌بودن غلظت مورد نیاز این عناصر برای گیاه در مقایسه با عناصر پرمصرف در پژوهش‌های دیگر بود.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شـــخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثر برهمکنش نوع باکتری و نوع جدایه بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در ذرت

Table 10. Means' comparison for the interaction effect of bacteria type and isolate type on some yield components, yield and concentration of micronutrients in corn

تیمار	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تک‌بوته Weight of a plant	تعداد خوشه در گیاه Number of clusters per plant	وزن تک‌خوشه Weight of a cluster	عملکرد ذرت Corn yield	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper
واحد	–	–	cm	cm	g	-	g	kg m^{-2}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
H×H22	2.89 fg	9.89 k	15.50 b	107.2 d	520 abc	3.89 f	105.4 c	1553 k	63.00 i	34.0 bcd	75.0 b	9.0 c
H×H19	3.14 cde	13.0 g	14.81 c	98.86 j	330 f	4.00 f	61.60 k	2066 g	100.0 ef	24.0 f	61.0 cde	4.0 d
H×H5	3.13 de	15.25 f	14.30 d	102.8 f	460 d	5.75 b	95.75 e	3879 a	80.00 h	30.0 de	76.0 b	2.0 d
H×HC	3.22 cd	13.33 g	13.33 g	103.3 e	500 cd	4.44 d	90.96 f	2003 h	102.0 e	29.0 e	26.0 i	8.0 c
H×C	2.44 h	12.11 h	11.00 k	98.44 k	330 f	4.923 c	72.04 h	2715 c	97.00 f	29.0 e	60.0de	9.0 c
A×A16	3.00 ef	11.14 j	13.57 f	100.0 i	506.7 bcd	4.43 d	109.9 b	1982 h	158.0 b	35.0 bc	58.0 e	4.0 d
A×A14	2.75 g	8.250 l	8.06 m	87.50 n	240 g	3.88 f	58.33 m	2245 e	157.0 b	35.0 bc	41.0 f	8.0 c
A×A11	3.22 cd	11.67 i	12.11 i	93.11 l	320 f	2.56 h	71.10 i	1173 l	127.0 c	32.0 cde	41.0 f	9.0 c
A×AC	3.71 a	16.43 e	11.21 j	100.1 hi	570 a	6.57 a	131.1 a	2194 f	183.0 a	28.0 b	102.0 a	12.0 b
A×C	3.44 b	11.11 j	10.11 l	100.9 g	390 e	2.89 g	87.74 g	1695 j	102.0 e	33.0 cde	40.0 f	13.0 b
HA×HA7	3.11 de	16.67 de	15.61 b	110.1 b	500 cd	4.44 d	70.18 j	1765 i	121.0 d	35.0 bc	63.0 cd	8.0 c
HA×HA8	3.00 ef	16.89 d	12.94 h	107.9 c	5606 ab	4.44 d	96.63 d	2825 b	127.0 c	30.0 de	59.0 e	16.0 a
HA×HA9	3.63 a	19.63 b	10.88 k	110.6 a	510 bcd	2.88 g	55.80 n	1200 l	87.00 g	29.0 e	35.0 g	12.0 b
HA×HAC	2.89 fg	17.67 c	13.78 e	100.3 h	360 ef	4.00 f	58.90 l	2170 f	87.00 g	32.0 cde	64.0 c	12.0 b
HA×C	3.33 bc	21.89 a	18.17 a	92.72 m	390 e	4.22 e	55.93 n	2309 d	124.0 cd	43.0 a	30.0 h	4.0 d

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

H: شورپسند (Halophile)، A: قلیاپسند (Alkaliphile)، HA: شورقلیاپسند (Haloalkaliphile)

References منابع مورداستفاده

1. Adesemoye, A.O., Torbert, H.A., Kloepper, J.W., 2008. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. Can. J. Microbiol. 54, 876–886. https://doi.org/10.1139/w08-081.
2. Akhavan, Z., Fallah, A., Rezayee Omr Abadi, Sh., 2010. Studying the effect of sulfur and *Thiobacillus* inoculum on the ability of rapeseed to absorb some elements. National Conference on Health, Environment and Sustainable Development. Bandar Abbas. https://en.civilica.com/doc/128345/.
3. Astaraei, A.R., Farid Hosseini, A.R., 2012. Biological Fertilizers (Technology, Marketing and Application). Ferdowsi University of Mashhad Press, 223 pages.
4. Bahar Kazemi, S., 2024. Electrochemical cell – in simple terms. Faraders Electronic Journal. https://blog.faradars.org
5. Baki, G., Abd El Siefritz, K.F., Man, H.M., Weiner, H., Kaldenhoff, R., Kaiser, W.M., 2000. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. Plant Cell Environ. 23, 515–521. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.
6. Bani Hashemi, Z., 2015. Plant Mineral Nutrition and Plant Diseases. Ayeezh Press, 352 pages.
7. Belimov, A.A., Safronova, V.I., Mimura, T., 2002. Response of spring rape (*Brassica napus* var. *oleifera* L.) to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria containing 1- aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Can. J. Microbiol. 48, 189–199. https://doi.org/10.1139/w02-007.
8. Besharati, H., Saleh Rastin, N., 1999. Investigating the effect of using *Thiobacillus* bacteria inoculum along with sulfur in increasing phosphorus absorption availability. J. Soil Water. 13(1), 23–39.
9. Cancellier, E., 2013. Re: What are the effects of soil salinity on pH?. Retrieved from: https://www.researchgate.net/post/What_are_the_effects_of_soil_salinity_on_pH/5229bdabd3df3ecb0e8259a2/citation/download.
10. Emami, A., 1996. Methods of Plant Analysis. Soil and Water Research Institute, Technical Publication No. 982. Tehran, Iran, 128 pp. (in Persian)
11. Emami, S., Alikhani, H.A., Pourbabaee, A.A., Etesami, H., Sarmadian, F., Motesharezadeh, B., 2020. Comparison of the effectiveness of plant growth promoting bacteria and chemical fertilizers on improving growth and yield of wheat. J. Nat. Environ. 73(2), 211–225. https://doi.org/10.22059/jne.2020.292277.1849.
12. Eskandari Torbaghan, M., 2017. Isolation and Efficiency of Haloalkaliphilic Bacteria on Salinity Stress Reduction in Wheat. PhD Thesis, Ferdowsi University, Mashhad.
13. Eskandari Torbaghan, M., Khalili Torghabeh, G.H., Sherafati, A., 2024. Isolation and Influence of halophilic, alkaliphilic, and haloalkaliphilic rhizospheric bacteria on the concentration of leaf nutrients in GN15 almonds rootstocks. J. Res. Hortic. Sci. 3(1), 67–88. https://doi.org/10.22092/RHSJ.2024.361994.1057.
14. Eskandari Torbaghan, M., Lakzian, A., Astaraei, A. R., Fotovat, A., Besharati, H., 2017. Quantitative comparison of ammonia and 3-indoleacetic acid production in halophilic, alkalophilic and haloalkalophilic bacterial isolates in soil. Exp. Anim. Biol. 6(1), 41–58. https://doi.org/20.1001.1.23222387.1396.6.1.5.7.
15. Fallah Nosrat Abadi, A., Saleh Rastin, N., Khavazi, K., 1999. Investigation of silicate-solubilizing bacteria in increasing available potassium for corn plants. J. Water Soil Sci. 13(2), 120–130.
16. Glick, B.R., Penrose, D.M., Li, J., 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. J. Theor. Biol. 190, 63–68. DOI: 10.1006/jtbi.1997.0532
17. Glickmann, E., Dessaux, Y., 1995. A critical examination of the specificity of the Salkowski reagent for indolic compound produced by phytopathogenic bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 61, 793–796. https://doi.org/10.1128/aem.61.2.793-796.1995.
18. Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci. Hortic. 78, 127–157. https://doi.org/10.1016/s0304-4238(98)00192-7.
19. Hamdi, M.A., Shaddad, M.A.K., Doaa, M.M., 2004. Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of *Azospirillum brasilense* inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions. Plant Growth Regul. 44, 165–174. https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000049414.03099.9b.
20. Hamdia, M.A., El-Komy, H.M., 1997. Effects of salinity, gibberelic acid and *Azosbirillum* inoculation on growth and nitrogen uptake of *Zea mays* L. Biol Plant. 40, 109–120. https://doi.org/10.1023/A:1000904819841.
21. Hamidi, A., Choukan, R., Asgharzadeh, A., Dehghanshoar, M., Ghalavand, A., Malakouti, J. 2009. Study on effect of application of plant growth promoting rhizobacteria on seedling emergence and establishment and grain yield of late maturity maize (*Zea mays* L.) hybrids in field conditions. Seed Plant Prod. 25(2), 183–206. https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110372.
22. Horikoshi, K., 1999. Alkaliphiles. Kodansha: Hardwood Academy Publisher, Springer, Germany.
23. Horikoshi, K., 1999. Alkaliphiles: Some applications of their products for biotechnology. Microbiol Mol. Biol. Rev. 63, 735–750. https://doi.org/10.1128/MMBR.63.4.735-750.1999.
24. Horikoshi, K., 2006. Alkaliphiles-Genetic Properties and Applications of Enzymes. Springer, Japan.
25. Iranipour, R., Malakouti, M.J., Abedi, M.J., Sajadi, A., Ghafourian, H., 2008. Main and residual effects of phosphate

rock, sulfur and *Thiobacillus* spp bacteria on yield indices of corn and barley. Soil Res. 21(2), 191–200. https://doi.org/10.22092/IJSR.2018.127086.
26. Jalali, V.R., Asadi Kapourchal, S., Homaee, M., 2017. Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. Agric. Water Manage. 180, 13–21. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.015.
27. Jones, B., Brian, E., Gravin, J., Stolberglaan, V., 1992. European Patent Application. 1992; Bulletin 93/18. Publication Number: EP 0 540 127A1. Rank Xerox (UK) Business Services (3.10/3.6/3.3.1).
28. Kalev S. D., Toor G. S. , 2018. The composition of soils and sediments. In: Török B., Dransfield T. (Eds.), Green Chemistry: An Inclusive Approach. Elsevier, Amsterdam, pp. 339–357. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00014-5.
29. Khalili Torghabe, G.H., Tehranifar, A., Abedi, B., Eskandari Torbaghan, M., 2022. Improvement of some growth and biochemical properties of almonds by the use of rhizospheric halophile, alkaliphile and haloalkaliphile bacteria in Khorasan Razavi almonds orchards. Pomol. Res. 6(2), 62–80. https://doi.org/10.30466/RIP.2021.53296.1157.
30. Khorshidi, M., Salimi, F., Farahjoo, Gh., 2024. Isolation of growth-promoting bacteria from soil and study of its effect on corn growth under salt stress. The First International and The Sixth National Conference on Biodiversity and Its Impact on Agriculture and Environment. https://en.civilica.com/doc/2096866.
31. Khoshgoftar Manesh, A., Siadat, H., 2002. Mineral Nutrition of Vegetables and Garden Crops in Saline Conditions. Publications of the Horticultural Affairs Ministry, First edition.
32. Kitada, M., Horikoshi, K., 1997. Sodium ion-stimulated a-(l-C)-aminoisobutyric acid uptake in alkalophilic *Bacillus* species. J. Bacteriol. 131, 784–788. https://doi.org/10.1128/jb.131.3.784-788.1977.
33. Molla, A.H., Shamsuddin, Z.H., Hakimi, M.S., Morziah, M., Puteh, A.B., 2001. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory systems. Soil Biol. Biochem. 33, 457–463. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00186-3.
34. Nourgholipour, F., Khavazi, K., Besharati, H., Fallah, A., 2006. Evaluation of rock phosphate, sulfur and *Thiobacillus* application affecting the yield and quality of soybean and their residual effects on corn growth. Soil Res. 20(1), 117–126. https://doi.org/10.22092/IJSR.2006.127189.
35. Nourgholipour, F., Malakouti, M., Khavazi, K., 2000. The role of *Thiobacillus* and phosphate solubilizing bacteria in increasing phosphorus absorption capacity from phosphate soil sources. J. Soil Water Sci. 12(11), 44–54.
36. Page, A.L., Chang, A.C., Adriano, D.C., 1999. Deficiencies and toxicities of trace elements. In: Wallender, W.W., Tanji, K.K. (Eds.), Agricultural Salinity Assessment and Management, ASCE Manuals and Reports on Eng. Practice, ASCE71: 138–160.
37. Rajput, L., Imran, A., Mubeen, F., Hafeez, F.Y., 2013. Salt-tolerant PGPR strain *Planococcus rifietoensis* promotes the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation in saline soil. Pak. J. Bot. 45(6), 1955–1962. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.227071.654274.
38. Rashidi, Z., Zeshkpour, P., Kharestani, H., 2013. Handbook of Biofertilizer Preparation. Agricultural Research Education and Extension Organization Publication (Tak). 190 pages.
39. Renato de Freitas, J., 2000. Yield and N assimilation of winter inoculated wheat rhizobacteria. Pedobiologia 44, 97–104. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.344.358.
40. Rohitashav-Singh, Sood, B.K., Sharma, V.K., Singh, R., 1993. Response of forage maize (*Zea mays* L.) to *Azotobacter* inoculation and inoculation and nitrogen. Indian J. Agron. 38, 555–558.
41. Salar Ashaeri, M., Khaledian, M.R., Kavousi Kalashomi, M., Rezaei, M., 2018. Determination of irrigation water economic value using production function in paddy fields categorized with cluster analysis method in Sefidroud irrigation and drainage network. Cereal Res. 8(3), 277–289. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22124/c.2018.8756.1350.
42. Saleh Rastin, N., 1998. Biological fertilizers. J. Soil Water Sci. 12(3), 1–36.
43. Sasani, S., Jahansooz, M.R., Ahmadi, A., 2014. The effects of deficit irrigation on water use efficiency, yield and quality of forage pearl millet. Proceedings of the 13th International Crop Science Congress. Sept. 4–7, Karaj, Iran. (In Persian)
44. Shaharoona, B., Arshad M., Zahir Z.A., Khalid, A., 2006. Performance of *Pseudomonas spp*. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil. Biol. Biochem. 38, 2971–2975.
45. Sperber, J.I., 1958. The incidence of apatite solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Aust. J. Agric. Res. 9, 778. https://doi.org/10.1071/AR9580778.
46. Tilak, K.V.B.R., Singh, C.S., Roy, N.K., Subba Rao, N.S. 1982. *Azospirillum brasilense* and *Azotobacter* inoculum effect on maize and sorghum. Soil Biol. Biochem. 14, 417–418.
47. Ventosa, A., Mellado, E., Sanchez, C., Marquez, M., 2004. Halophilic and halotolerant micro organism from soils. Microbiology of Extreme Soils. 13, 87–15. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74231-9_5.

48. Ventosa, A., Nieto, J.J., Oren, A., 1998. Biology of moderately halophilic aerobic bacteria. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 504–544. https://doi.org/10.1128/MMBR.62.2.504-544.
49. Yavari, F., 2024. Factors affecting the growth of microorganisms in food. Health and Nutrition Magazine. https://www.slideshare.net/slideshow/factor-affecting-growth-of-microorganisms-in-food/252774356