



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 Torghabeh²

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. <https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.20622>. (In Persian with English abstract)





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

مهرنوش اسکندری تربقان^{۱*} و غلام حسین خلیلی طرهبه^۲

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@areco.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؛ در نتیجه افزایش مقاومت آن در برابر تنش شوری بسیار مهم است. **روش‌ها:** اثر جدایه‌های افراطی پسند بومی خراسان رضوی، با بیش‌ترین توانایی در تولید تری‌ايندول استیک اسید (IAA)، انحلال فسفات‌های نامحلول (PSB) و تولید آگروپلی ساکاریدها (EPS)، بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر کم‌مصرف ذرت فوق‌شیرین (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، قلیایسند و شورقلیایسند) و ۲) سه جدایه بومی مختلف از سه نوع باکتری شورپسند (H5، H9 و H22)، قلیایسند (A11، A14 و A16) و شورقلیایسند (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 به ترتیب $44/5$ ، $74/6$ mg L^{-1} و $29/3$ $\mu\text{M L}^{-1}$ ، قلیایسندها $1390/5$ mg L^{-1} ، $135/7$ $\mu\text{M L}^{-1}$ و شورقلیایسندها $256/0$ mg L^{-1} و $41/7$ $\mu\text{M L}^{-1}$ به دست آمد. میانگین اجزای عملکرد، غلظت عناصر کم‌مصرف به جز آهن در گروه شورقلیایسندها و میانگین عملکرد ذرت در گروه شورپسندها بیش‌تر بود. باکتری‌های قلیایسند در جذب آهن ($145/4$ mg kg^{-1}) و منگنز ($34/6$ mg kg^{-1}) نسبت به دو گروه دیگر برتری نشان دادند. کارایی جذب عناصر کم‌مصرف قلیایسندها، احتمالاً به علت غلظت ناکافی سدیم، به اندازه دو گروه دیگر زیاد نبود، ولی A14 عملکرد بیش‌تری ($2/245$ kg m^{-2}) نسبت به سایر قلیایسندها داشت. **نتیجه‌گیری کلی:** بیشینه میانگین عملکرد ذرت در جدایه شورپسند H5 با $3/879$ kg m^{-2} و سپس در جدایه شورقلیایسند HA8 با $2/825$ kg m^{-2} مشاهده شد. بین بیشینه (H5) و کمینه (A11) عملکرد ذرت تفاوتی برابر $2/7$ kg m^{-2} مشاهده شد. عملکرد کم‌تر ذرت در جدایه‌های شورقلیایسند، احتمالاً به دلیل شوری زیاد خاک آن ($34/1$ dS m^{-1}) در مقایسه با جدایه‌های شورپسند ($12/5$ dS m^{-1}) بود.

واژه‌های کلیدی: تری‌ايندول استیک اسید، ذرت فوق‌شیرین، شورقلیایسندها، عناصر کم‌مصرف.



مقدمه

کمبود خاک و آب با کیفیت، از مهم ترین عوامل ایجاد تنش های غیرزیستی در رسیدن به عملکرد مطلوب در گیاهان زراعی است (Jalali et al., 2017). با توجه به تغییر جدی در منابع و بروز تنش های مختلف غیرزیستی، تغییر در راهبردهای مناسب برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان امری ضروری و اجتناب ناپذیر است (Sasani et al., 2014; Salar Ashaeri et al., 2018). استفاده از ریزجاندارن مفید بومی به منظور حذف سموم و سایر آلاینده های خاک، تجزیه سریع بازمانده های گیاهی، بهبود ساختمان فیزیکی خاک، اصلاح خاک های فرسوده، کمک به حفظ سلامت گیاه و مبارزه با تنش های زیستی و غیرزیستی (Saleh Rastin, 1998)، یکی از این راهبردهای سازگار با محیط زیست بوده که در دهه های اخیر نیز مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. افراطی پسندها (اکسترموفیل ها¹) با داشتن ویژگی های بیولوژیک مفید، از جمله ویژگی های ترفیع دهنده گی رشد گیاه (PGPH یا PGPA)، در عین حال بقا در شرایط نامناسب مانند شوری و قلیائیت شدید خاک، گزینه مناسبی در تعدیل تنش های 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 باکتری ها سبب افزایش رشد گیاه ذرت، مقدار کلروفیل، افزایش مقدار قند محلول، پروتئین ها 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 داده اند که تلقیح ذرت با *آزوسپریلوم*² در شوری های زیاد حاصل از نمک کلرید سدیم افزایش معنی داری در میزان کلروفیل، پتاسیم و کلسیم، قندهای محلول و پروتئین نسبت به شاهد (تلقیح نشده) داشت. در پژوهشی با بررسی فرآیندهای تحمل به نمک کلرید سدیم و آثار برهمکنش تلقیح با

*آزوسپریلوم برازیلنس*³ در ارقام ذرت رشد کرده در شرایط تنش شوری گزارش شد که تحمل به نمک کلرید سدیم در ارقام تلقیح شده 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 تلقیح شده به طور معنی داری 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 ریشه های موین و در نتیجه افزایش سطح ریشه شد (Molla et al., 2001). نتایج آزمایشی بر روی گیاه ذرت نشان داد که تلقیح با برخی از سویه های باکتری *سودوموناس منجر* به افزایش معنی دار ارتفاع، وزن ریشه و زیست توده کل ذرت در مقایسه با شاهد در شرایط شوری خاک شد. به نظر می رسد این سویه ها با کاهش میزان بازدارندگی اتیلن در ریشه ها موجب افزایش رشد ریشه گیاه شده و در نتیجه با بهبود آن، عملکرد و رشد ساقه را نیز افزایش دادند (Shaharoon et al., 2006). اخیراً مشخص شده است که رابطه مثبت و معنی داری بین فعالیت ACC دی آمیناز و طولیل شدن ریشه ذرت به واسطه تلقیح با باکتری های ریزوسفری وجود دارد. نتایج پژوهش های دیگر نشان داد که عملکرد دانه و رشد ریشه گیاهان تلقیح یافته با ریزوباکتری های محرک رشد به دلیل افزایش فعالیت ACC دی آمیناز بهبود می یابد (Glick et al., 1998; Belimov et al., 2002). (Rohitashv-Singh et al., 1993). 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 *آزوسپریلوم* را بر مقدار ماده خشک شاخساره

3- *Azospirillum brasilense*

1- Extremophiles

2- *Azospirillum*

کاربرد PGPR با و بدون میکوریزا، کودهای آلی و معدنی و نیز با و بدون خاک‌ورزی بررسی شد. افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه حاصل از تیمار میکروبی با افزایش در مقدار نیتروژن در وزن دانه و حذف برداشت مقادیر قابل توجهی 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 به منظور بررسی اثر جدایی‌های باکتریایی افراطی - پسند بومی خراسان رضوی (که دارای بیش‌ترین توانایی در تولید تری‌ایندول استیک اسید، انحلال فسفات‌های نامحلول و تولید اگزوپلی ساکارید 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 تری‌ایندول استیک اسید^۵ (IAA)، انحلال فسفات‌های نامحلول^۶ (PSB) و تولید اگزوپلی ساکاریدها^۷ (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 قلیابیت خاک در مزرعه بود. کشت

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 تأثیر آن بر عملکرد خشک هر دو محصول معنی‌دار بود. (Fallah Nosrat Abadi et al. 1999) در آزمایش‌های 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^۴) 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

6- Soluble mineral phosphates (PSB)

7- Exopolysaccharides (EPS)

4- Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)

5- Tri-indoleacetic acid (IAA)

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

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

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

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

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، قلیایسند، شورقلیایسند) گرماگذاری شدند. به ترتیب ۲۶ جدایه شورپسند توسط محیط کشت (Ventosa et al., 1998)، ۱۸ جدایه قلیایسند توسط محیط کشت هوری کوشی (I) (Horikoshi, 2006) و ۱۱ جدایه شورقلیایسند توسط محیط کشت اختصاصی (Jones et al., 1992) جداسازی شدند. پس از جداسازی، برای اطمینان از خالص بودن آنها، چندین مرتبه بازکشت شدند.

جدایه‌های خالص‌سازی شده (جدول ۳) برای نگهداری درازمدت به روش نیتروژن مایع (Horikoshi, 1999) ذخیره-سازی شدند. پس از جداسازی، برای انتخاب برترین جدایه‌ها، برخی ویژگی‌های محرک رشد آن‌ها شامل تولید ایندول‌تری-استیک اسید در جدایه‌ها و تکرارهای آن‌ها از روش سالکوسکی (Glickmann and Dessaux, 1995)، تولید اگزوپلی ساکارید خارجی به روش فنل-اسید سولفوریک (Ventosa et al., 2004)، سنجش کمی توان حل فسفات‌های معدنی نامحلول، مشخصاً تری‌کلسیم فسفات^۸ در شرایط آزمایشگاهی و به روش

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 سانتی متر) آماده شد.

اندازه‌گیری صفات محرک رشد گیاه در آزمایشگاه

به منظور جداسازی جدایه‌های شور، قلیا و شورقلیایسند بومی، نمونه‌برداری خاک به صورت ساده از خاک چهار منطقه در استان خراسان رضوی (جدول ۱) از لایه ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر با شرایط (رسانایی الکتریکی بیش‌تر از ۴ 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 خالص-سازی تعداد ۵۵ جدایه از هر یک از گروه‌های شور، قلیا و شورقلیایسند از نمونه‌های خاک توسط محیط کشت اختصاصی (جدول ۲) آن‌ها انجام شد. برای جداسازی (به دلیل غایبی بودن 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

8- Tri-calcium phosphate

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

مقدار (گرم بر لیتر) Amount (g L ⁻¹)			ترکیبات Compounds
شورقلیایپسند Haloalkaliphile	قلیایپسند Alkaliphile	شورپسند [■] Halophile [■]	
–	10	1	Glucose گلوکز
–	5	–	Poly Peptone پلی پپتون
10	5	10	Yeast extract عصاره مخمر
–	1	–	دی پتاسیم هیدروژن فسفات Dipotassium hydrogen phosphate
1	0.2	9.6	سولفات منیزیم هفت‌آبه Magnesium sulfate heptahydrate (MgSO ₄ .7H ₂ O)
18.5 [▲]	10*	–	Sodium carbonate کربنات سدیم
200	–	81	Sodium chloride کلرید سدیم
–	–	7	کلرید منیزیم دوآبه Hydrated magnesium chloride (MgCl ₂ .2H ₂ O)
–	–	0.36	کلرید کلسیم Calcium chloride
2	–	2	Potassium chloride کلرید پتاسیم
–	–	0.06	بی کربنات سدیم Sodium hydrogen bicarbonate
–	–	0.026	Sodium bromide برمید سدیم
–	–	5	Protease Peptone پروتئاز پپتون
7.5	–	–	کازمینو اسید Casino acid
3	–	–	تری سدیم سیترات Trisodium citrate
0.00036	–	–	کلرید منگنز آبدار Manganese (II) chloride
0.05	–	–	سولفات آهن آبدار Ferrous sulfate
20	20	15	آگار Agar
39.90	12.21	30.85	رسانایی الکتریکی (dS m ⁻¹) محیط کشت Electrical conductivity of the culture medium, dS m ⁻¹
9.18	8.89	7.2	pH محیط کشت pH of culture medium

■ 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 اگزوپلی ساکارید (EPS) تولیدی در جدایه‌های باکتریایی شورپسند، قلیایسند و شورقلیایسند.

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

شورقلیایسندا Haloalkaliphilic			شماره جدایه	قلیایسندا Alkaliphilic			شماره جدایه	شورپسندا Halophilic			شماره جدایه
EPS (ppm)	PSB (ppm)	IAA (ppm)		EPS (ppm)	PSB (ppm)	IAA (ppm)		EPS (ppm)	PSB (ppm)	IAA (ppm)	
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 ^{iklm}	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)

در سه تکرار با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه آماری شده و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

(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

آزمون مزرعه‌ای جدایه‌های منتخب در مجاورت گیاه

در مرحله بعد، دو جدایه از بهترین جدایه‌های انتخاب شده از هر گروه (شور، قلیا و شورقلیایسند) 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، قلیایسند و شورقلیایسند) 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 قلیائیت (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 شورپسندا، قلیایسندا و شورقلیایسندا 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 شورقلیایسند 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 مشخص کردن 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, 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	ویژگی	واحد	ماسه رودخانه‌ای	روستای رحمانیه	خاک زراعی محل اجرا
No.	Property	Unit	River sand	Rahmaniyeh Village	Agricultural soil at the study site
1	شن	%	99.4	70.7	70.4
2	سیلت	%	0.6	16.9	24.6
3	رس	%	0.0	12.4	5.0
4	بافت خاک	–	Sand	Sandy Loam	Sandy loam
5	واکنش pH	–	8.55	7.90	8.10
6	رسانایی الکتریکی	dS m ⁻¹	0.54	60.32	1.18
7	نیتروژن کل	%	0.019	0.023	0.03
8	فسفر قابل دسترس	mg L ⁻¹	0.16	2.65	7.86
9	پتاسیم قابل دسترس	mg L ⁻¹	2.70	11.25	15.53
10	کربن آلی	%	0.22	0.27	0.35
11	سدیم	meq L ⁻¹	0	526.99	0
12	نسبت جذب سدیم	(meq L ⁻¹) ^{0.5}	0	85.47	0

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

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

ردیف	ویژگی	واحد	EC= 2.56 dS m ⁻¹	EC= 12.5 dS m ⁻¹	EC= 34.1 dS m ⁻¹
No	Property	Unit			
1	شن	%	72.8	64.8	62
2	سیلت	%	18	22	21
3	رس	%	9.2	13.2	17
4	بافت خاک	–	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
5	واکنش pH	–	8.35	7.17	8.72
6	رسانایی الکتریکی	dS m ⁻¹	2.56	12.5	34.1
7	نیتروژن کل	%	0.0247	0.0159	0.0324
8	فسفر قابل دسترس	mg L ⁻¹	0	6.72	0
9	پتاسیم قابل دسترس	mg L ⁻¹	6.97	6.97	5.47
10	کربن آلی	%	0.287	0.185	0.375
11	سدیم	meq L ⁻¹	124.0	71	200
12	نسبت جذب سدیم	(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 شورقلیپسندها و کم‌ترین آن در قلیپسندها مشاهده شد (جدول ۶). ولی بیش‌ترین وزن خوشه (جدول ۶) و عملکرد ($2/443 \text{ kg m}^{-2}$) در شورپسندها و کم‌ترین آن در قلیپسندها ($1/858 \text{ kg m}^{-2}$) به‌دست آمد (جدول ۶). عملکرد بیشتر ذرت در جدایه‌های شورپسند احتمالاً به‌دلیل شوری خاک کمتر ($12/5 \text{ dS m}^{-1}$) آن در مقایسه با جدایه‌های شورقلیپسند ($34/1 \text{ dS m}^{-1}$) بود. پژوهش‌های Eskandari

(Torbaghan et al., 2024) نشان داد باکتری‌های شورپسند نسبت به باکتری‌های قلیپسند و شورقلیپسند کارایی بیشتری به‌ترتیب برابر با $34/5$ ، $33/3$ و $32/2$ درصد در جذب عناصر پرمصرف، و نیز جذب کمتر یون‌های سمی کلرید و سدیم (به‌ترتیب با $72/3$ ، $65/3$ و $62/4$ درصد) برای پایه GN15 بادم نشان دادند. روند غلظت عناصر کم‌مصرف آهن و منگنز تحت تأثیر نوع باکتری مشابه بود، چنانکه بیش‌ترین غلظت آهن و منگنز به‌ترتیب با $145/4$ و $34/60 \text{ mg kg}^{-1}$ در قلیپسندها و حداقل غلظت در باکتری‌های شورپسندها به‌ترتیب با $88/40$ و $29/20 \text{ mg kg}^{-1}$ 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 > شورقلیپسند)، 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 مولیدن 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 شورقلیپسند بر غلظت عناصر غذایی برگ در بادم پایه GN15 نیز نشان داد (Eskandari Torbaghan et al., 2024) که روند افزایش غلظت روی برگ به‌ترتیب در قلیپسند، شورقلیپسند و شورپسندها تحت تأثیر باکتری‌ها مشابه با مقادیر کمی 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 کم مصرف در ذرت

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

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

در هر ستون، میانگین های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی دار 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.

مختلف، متفاوت است (Emami et al., 2020).

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

بررسی جدایه های قلیا پسند 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). باکتری های قلیا پسند در محدوده pH بین ۹ تا ۱۱/۵، pH خود را حدود ۹/۵ حفظ می کنند. این باکتری ها با سامانه های انتقال پروتون در غشای سیتوپلاسمی (پمپ ATP و تعویض کننده سدیم با پروتون) به فعالیت خود ادامه می دهند (Horikoshi, 1999). در پژوهشی (Eskandari Torbaghan, 2017) با بررسی صفات رشدی سه نوع باکتری شور، قلیا و شورقلیا پسند در شرایط آزمایشگاهی مشاهده شد که مقایسه مقدار pH در جدایه های قلیا پسند نشان دهنده شرایط قلیایی حاکم بر محیط کشت و تغییر pH محیط کشت بود (مقدار pH در شاهد برابر ۸/۷ بود). رشد هیچ یک از باکتری ها در محدوده pH اسیدی و خنثی رخ نداد و جدایه A9 با مقدار ۷/۵،

رشد توسط آن ها و به ترتیب در شورپسندها، قلیا پسندها و شورقلیا پسندها مشاهده شد. یافته های Eskandari Torbaghan et al. (2024) نشان داد بسته به مقدار و الکتروشیمی آن عنصر، غلظت برخی عناصر تحت تأثیر غیرمستقیم باکتری و از راه تأثیر آن به عنوان مثال در برخی جدایه های قلیا پسند بر فاکتورهای محیطی اطراف خود همانند pH محیط و در برخی عناصر به طور مستقیم تحت تأثیر محرک های رشدی تولید شده توسط باکتری ها بود. به طور کلی غلظت نیتروژن، فسفر، منیزیم و روی برگ به ترتیب ۲، ۸، ۱/۴ و ۱/۸ برابر حدود بهینه همین عناصر در برگ بادام بود که احتمالاً نشان دهنده توان زیاد باکتری های افراطی پسند بومی در فراهمی این عناصر در شرایط تنش شوری و سدیم زیاد خاک بود (Eskandari Torbaghan et al., 2024).

ارزیابی جدایه های شورپسند به کارگرفته شده نشان داد جدایه H22 بیشترین کارایی، در افزایش صفات رشدی و غلظت عناصر کم مصرف را داشت (جدول ۷) ولی بیشترین عملکرد ذرت در شورپسندها با مقدار $3/879 \text{ kg m}^{-2}$ در جدایه H5 و سپس در جدایه H22 با مقدار $2/715 \text{ kg m}^{-2}$ تعیین شد (جدول ۷). به کارگیری جدایه های شورپسند H22، H9، H5 و شاهد بدون باکتری (HC) موجب افزایش به ترتیب 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 باکتری ها شدند. این نتایج نشان داد که به ترتیب ۱۶/۶، ۲۱/۸ و ۱۱/۶ درصد افزایش عملکرد تنها ناشی از به کارگیری جدایه های شورپسند بود و ارتباطی با آثار تغذیه ای (در صورت وجود) در محیط کشت ها نداشت. این یافته ها شاید نشان دهنده کارایی و توان این باکتری ها در محیط پیرامونی و فراهمی عناصر غذایی و تولید محرک های رشدی برای گیاه در شرایط شوری و قلیائیت است. پژوهش ها نشان می دهد که تلقیح گیاهان با باکتری های محرک رشد موجب افزایش عملکرد شاخساره گیاهان می شود؛ البته افزایش عملکرد زیست توده بسته به پتانسیل میکروبی از یک باکتری به باکتری دیگر و در شرایط

جدول ۷. مقایسه میانگین تاثیر جدایه های شورسند بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم مصرف در ذرت

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

مس	روی	منگنز	آهن	عملکرد	وزن	تعداد خوشه در گیاه	وزن تک بوته	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه های جانبی در بوته	تیمار
Copper	Zinc	Manganese	Iron	Cor n yield	Weight of a cluster	Number of clusters per plant	Weight of a plant	Plant height	Stern diameter	Number of leaves per plant	Number of secondary branches per plant	Treat.
mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg m ⁻²	g	-	g	cm	cm	-	-	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، میانگین های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی دار 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: شورسند (Halophile)

جدول ۸ مقایسه میانگین تاثیر جدایه قلیا پسند بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم مصرف در ذرت

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

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

در هر ستون، میانگین های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی دار 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: قلیا پسند (Alkaliphile)

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 شورقلی‌پسند 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 kg m^{-2} ۲/۸۲۵^۲ برترین جدایه‌های شورقلی‌پسند 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 سمی 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 شورقلی‌پسند در بادامستان‌های خراسان رضوی (Khalili Torghabe et al., 2022) نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه ($61/2 \text{ cm}$) در گروه شورپسندها و کم‌ترین آن در

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 $10/4 \text{ dS m}^{-1}$ بود. شاید تأثیر کم‌تر جدایه‌های قلیا‌پسند مورد بررسی بر افزایش رشد گیاه ذرت، به دلیل 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 نیاز است. (Horikoshi and Kitada (1997) سدیم نقش مهمی در سازوکار انتقال فعال اسید آمینه به درون سلول‌های قلیا‌پسندها بازی می‌کند. در برخی از جدایه‌های باسیلوس قلیا‌پسند، یون‌های پتاسیم (K^+) می‌توانند جایگزینی، برای یون‌های سدیم 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، ۷۸۱۵/۰ 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 $13/57$ سانتی‌متر قطر بیش‌ترین قطر ساقه را نشان داد (جدول ۸). جدایه A14 نیز بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد بدون باکتری و با مقدار $2/245 \text{ kg m}^{-2}$ بیش‌ترین عملکرد را در بین جدایه‌های قلیا‌پسند به خود اختصاص داد (جدول ۸). بررسی باکتری قلیا‌پسند مقاوم به شوری پلانوکوکوس رایفی‌تونسس^۹ نشان داد که این باکتری تولید کننده IAA (264 میکروگرم بر میلی‌لیتر)، توانایی انحلال فسفات‌های معدنی ($16/7$ میکروگرم بر میلی‌لیتر) و فعالیت ACC دی‌آمیناز (استفاده از ACC به‌عنوان منبع نیتروژن در شوری 100 تا 300 میلی‌مولار

جدول ۹. مقایسه میانگین تاثیر جدایه شورقلیالپسند بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم مصرف در ذرت

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

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

در هر ستون، میانگین های با حداقل یک حرف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ تفاوت معنی دار 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: شورقلیالپسند (Haloalkaliphile)

کم‌مصرف را کاهش و یا افزایش داده و یا اثری بر آن نداشته باشد (Grattan and Grieve, 1999). علاوه بر این پیچیدگی، عدم قطعیت فراوانی در روابط ریزجانداران با یکدیگر و گیاه به‌ویژه در خاک‌های شور-قلیا را نیز باید به آن افزود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی مقایسه روند و مقایسه میانگین صفات تحت تاثیر تلقیح انواع جدایه‌های باکتریایی نشان داد که میانگین مقادیر اجزای عملکرد در ذرت به‌ترتیب در شورقلی‌پسندها < شورپسندها < قلیا‌پسندها، مقدار عملکرد به‌ترتیب در شورپسندها < شورقلی‌پسندها $\approx$ قلیا‌پسندها و میانگین غلظت عناصر کم‌مصرف مورد بررسی به‌ترتیب زیر تحت تاثیر شورقلی‌پسندها < 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 شورقلی‌پسند به‌ترتیب برابر ۲۴/۴، ۱۸/۶ و ۲۰/۵ تن در هکتار به‌ترتیب در خاک‌هایی با شوری ۱۲/۵، ۲/۵۶ و $34/1 \text{ dS m}^{-1}$ 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 منافی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

گروه قلیا‌پسندها مشاهده شد. باکتری‌های شورپسند بیش‌ترین افزایش را در وزن تازه شاخساره موجب شدند، ولی وزن تازه ریشه‌ها در گروه باکتری‌های شورقلی‌پسند بیش‌ترین بود. نسبت وزن تازه شاخساره به ریشه‌ها به‌ترتیب برای سه گروه شورپسند، قلیا‌پسند و شورقلی‌پسندها برابر ۸۶/۰، ۸۷/۰ و ۷۴/۰ بود که بیان‌گر تاثیر بیش‌تر باکتری‌های شورقلی‌پسند بر رشد ریشه‌ها نسبت به رشد شاخساره بود. تلقیح باکتری‌های شورقلی‌پسند موجب افزایش درصد رطوبت ریشه‌ها و شاخساره در خاک‌های با شوری زیاد (به‌ترتیب ۱۶ و 8 dS m^{-1}) گردید. به‌طور کلی، باکتری‌های شورقلی‌پسند بر بهبود رشد ریشه‌ها، قلیا‌پسندها و شورپسندها به‌ترتیب بر افزایش صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی بادام تاثیر بیش‌تری داشتند (Khalili Torghabe et al., 2022).

بررسی آثار دسته باکتری و نوع جدایه آن نشان داد که به‌ترتیب جدایه‌های شورقلی‌پسند بر اجزای عملکرد و شورپسندها بر عملکرد تاثیر بیشتری داشتند (جدول ۱۰). میانگین مجموع عملکرد جدایه‌ها در باکتری‌های شورپسند، قلیا‌پسند و شورقلی‌پسند به‌ترتیب برابر $2/443$ ، $1/857$ و $2/053 \text{ kg m}^{-2}$ (جدول ۱۰) بود. بررسی عناصر غذایی تحت تاثیر نوع باکتری و نوع جدایه نشان داد که به‌کارگیری شاهد استریل در محیط کشت قلیا‌پسندها (جدول ۲)، بیش‌ترین غلظت آهن (183 mg kg^{-1}) و روی (102 mg kg^{-1}) را نشان داد. همچنین غلظت منگنز با مقدار 43 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). به‌طور کلی رابطه بین شوری و عناصر کم‌مصرف بسیار پیچیده بوده و شوری ممکن است غلظت عناصر

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثر برهمکنش نوع باکتری و نوع جدایه بر برخی اجزای عملکرد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی کم مصرف 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														
مس	روی	منگنز	آهن	ذرت	عسلکرد ذرت	خوشه	وزن تک- خوشه	تعداد خوشه در گیاه	وزن تک بوته	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه‌های جانبی در بوته	تیمار
Copper	Zinc	Manganese	Iron	Corn yield	Weight of a cluster	Weight of a cluster	Number of clusters per plant	Weight of a plant	Plant height	Stem diameter	Number of leaves per plant	Number of secondary branches per plant		
mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg m ⁻²	g	g	-	g	cm	cm	cm	-	-	واحد
9.0 c	75.0 b	34.0 bed	63.00 i	1553 k	105.4 c	3.89 f	520 abc	107.2 d	15.50 b	9.89 k	2.89 fg	H×H22		
4.0 d	61.0 cde	24.0 f	100.0 ef	2066 g	61.60 k	4.00 f	330 f	98.86 j	14.81 c	13.0 g	3.14 cde	H×H19		
2.0 d	76.0 b	30.0 de	80.00 h	3879 a	95.75 e	5.75 b	460 d	102.8 f	14.30 d	15.25 f	3.13 de	H×H5		
8.0 c	26.0 i	29.0 e	102.0 e	2003 h	90.96 f	4.44 d	500 cd	103.3 e	13.33 g	13.33 g	3.22 cd	H×HC		
9.0 c	60.0de	29.0 e	97.00 f	2715 c	72.04 h	4.923 c	330 f	98.44 k	11.00 k	12.11 h	2.44 h	H×C		
4.0 d	58.0 e	35.0 bc	158.0 b	1982 h	109.9 b	4.43 d	506.7 bed	100.0 i	13.57 f	11.14 j	3.00 ef	A×A16		
8.0 c	41.0 f	35.0 bc	157.0 b	2245 e	58.33 m	3.88 f	240 g	87.50 n	8.06 m	8.250 l	2.75 g	A×A14		
9.0 c	41.0 f	32.0 cde	127.0 c	1173 l	71.10 i	2.56 h	320 f	93.11 l	12.11 i	11.67 i	3.22 cd	A×A11		
12.0 b	102.0 a	28.0 b	183.0 a	2194 f	131.1 a	6.57 a	570 a	100.1 hi	11.21 j	16.43 e	3.71 a	A×AC		
13.0 b	40.0 f	33.0 cde	102.0 e	1695 j	87.74 g	2.89 g	390 e	100.9 g	10.11 l	11.11 j	3.44 b	A×C		
8.0 c	63.0 cd	35.0 bc	121.0 d	1765 i	70.18 j	4.44 d	500 cd	110.1 b	15.61 b	16.67 de	3.11 de	HA×HA7		
16.0 a	59.0 e	30.0 de	127.0 c	2825 b	96.63 d	4.44 d	5606 ab	107.9 c	12.94 h	16.89 d	3.00 ef	HA×HA8		
12.0 b	35.0 g	29.0 e	87.00 g	1200 l	55.80 n	2.88 g	510 bed	110.6 a	10.88 k	19.63 b	3.63 a	HA×HA9		
12.0 b	64.0 c	32.0 cde	87.00 g	2170 f	58.90 l	4.00 f	360 ef	100.3 h	13.78 e	17.67 c	2.89 fg	HA×HAC		
4.0 d	30.0 h	43.0 a	124.0 cd	2309 d	55.93 n	4.22 e	390 e	92.72 m	18.17 a	21.89 a	3.33 bc	HA×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.

شورپسند (Halophilic): A، قلیا پسند (Alkaliphile): HA، شورقلیا پسند (Halotalkaliphile): H

References

منابع مورد استفاده

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.faraders.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, alkaliphilic and haloalkaliphilic 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](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. Hamdi, M.A., El-Komy, H.M., 1997. Effects of salinity, gibberelic acid and *Azospirillum* 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., Homaei, 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-(1-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](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>