مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دوره ۱۵- شماره ۱ (پیاپی ۵۰)- خرداد -۱٤۰۵، صفحه ۱۰۱- ۱۱۸

مقاله پژوهشی

تأثیر باکتری‌های محرک رشد **Bacillus amyloliquefaciens** و **Bacillus halotolerans** و کاربرد بیوسالیدز بر خصوصیات فیزیولوژِیکی گیاه ***Salvia hispanica*** تحت شرایط شوری

رمضان قبادپور[۱]، محمدعلی حکیم زاده اردکانی[۲]*، اصغر مصلح آرانی[۳]، حمید سودائی زاده[٤]، مریم السادات میرباقری فیروزآباد[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰**

چکیده

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به‌مدت شش ماه در شرایط مزرعه اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل باکتری محرک رشد گیاه (چهار سطح: عدم تلقیح، تلقیح با Bacillus halotolerans، تلقیح با Bacillus amyloliquefaciens و تلقیح همزمان دو باکتری)، تنش شوری آب آبیاری (چهار سطح: شاهد ۰,۳، ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و بیوسالیدز (سه سطح: عدم کاربرد، کاربرد ۱۰ و ۳۰ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد شوری تأثیر معنی‌داری بر کاهش جذب عناصر داشت، به‌طوری‌که جذب فسفر (۲۰,۳٪)، پتاسیم (۳۲,٦٪)، کلسیم (۳۱,۷٪) و کلروفیل (۱٤,۱٪) کاهش یافت. در مقابل، تنش شوری منجر به افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها (۱٦۰,۳٪)، فنل کل (۸۸,۲٪) و پرولین (۱۱۲٪) شد.کاربرد همزمان بیوسالیدز و باکتری، مقدار منیزیم و کلسیم برگ را به‌ترتیب ۱۰ و ۱۱ درصد افزایش داد. در شرایط آبیاری با آب شور، باکتری‌ها جذب پتاسیم (۳۲,٤٪)، کلسیم (۳۷,٦٪) و فسفر (٦۰,۱٪) را افزایش و جذب سدیم را ۳۲,۵ درصد کاهش دادند. تلقیح باکتریایی به‌ویژه ترکیب دو باکتری، قندهای محلول (۳۹,۳٪) و پرولین (۱۳۷,۷٪) را افزایش و آنتی‌اکسیدان‌ها (۱۱۰,۲٪) و فنل (٦۵,۳٪) را کاهش داد.درنهایت، تلقیح باکتری‌ها B. halotolerans و B. amyloliquefaciens تحمل گیاه به شوری را بهبود بخشید. این نتایج بر ضرورت ادغام رویکردهای میکروبیولوژیک و مدیریت منابع آلی در برنامه‌های اصلاح اراضی شور تأکید دارد.

واژگان کلیدی: اصلاح اراضی شور، بیوکنترل، پرولین، کلروفیل.

۱. دانشجوی مقطع دکتری مدیریت و کنترل بیابان دانشگاه یزد، یزد، ایران- rghobadpoor1363@gmail.com

۲. دانشیار، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی- گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی،hakim@yazd.ac.ir

۳. استاد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی- گروه محیط زیست،amosleh@yazd.ac.ir

٤. استاد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی- گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی،hsodaie@yazd.ac.ir

۵. استادیار، دانشگاه یزد، دانشکده علوم پایه- گروه زیست شناسی ،m.mirbagheri@yazd.ac.ir

DOI: 10.22052/deej.2026.257979.1126

مقدمه

تنش شوری به‌عنوان پیامد تجمع املاح در خاک یکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی در مناطق خشک محسوب می‌شود که رشد و تولید گیاهان را مختل می‌سازد (نجفی زیلائی و همکاران، ۲۰۲۲). در سال‌های اخیر، روند فزاینده شورشدن خاک‌ها، گستره وسیعی از اراضی کشاورزی را به دلیل تراکم بالای نمک‌ها از چرخه تولید خارج کرده است (عطا و همکاران، ۲۰۲۳). اگرچه تمامی گیاهان تحت تنش شوری دچار توقف رشد می‌شوند، اما سطح تحمل گونه‌ها و میزان کاهش رشد در غلظت‌های بالای نمک متفاوت است. تأثیرات مستقیم شوری بر برگ‌ها شامل پیری زودرس، تغییر ساختار بافت‌های برگ، تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش تولید بیوماس و فعالیت فتوسنتزی می‌شود (حاجی‌آبادی و همکاران،۱۴۰۰).

تلاش‌های زیادی درزمینه‌ی توسعه راهکارهای پایدار برای افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی در حال اجراست. استفاده از روش‌های نوین اصلاح نباتات، اصلاح خاک و فناوری‌های زیستی به یکی از اولویت‌های مهم پژوهشی در سطح جهانی تبدیل شده است (نجفی زیلائی و همکاران، ۲۰۲۲). باکتری‌های محرک رشد[1] با سازوکارهای تطابقی، اثرات تنش را خنثی نموده و کارایی گیاهان را ارتقا می‌بخشند. این میکروارگانیسم‌ها از طریق مکانیسم‌های متعدد، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، سبب بهبود شاخص‌های رشدونمو گیاه می‌شوند. تأثیرات مستقیم شامل افزایش دسترسی به عناصر مغذی از طریق انحلال ترکیبات کم محلول، تولید سیدروفورها، فعالیت آنزیم ACC- دآمیناز[2]، سنتز هورمون‌های گیاهی، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و تثبیت نیتروژن می‌باشد (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷). تأثیرات غیرمستقیم نیز از طریق مکانیسم‌های رقابتی یا بازدارندگی، مانند رقابت با عوامل بیماری‌زا، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، آنزیم‌های لیتیک و سیانید هیدروژن، اثرات زیان‌بار پاتوژن‌ها را کاهش داده و رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (نجفی زیلائی و همکاران، ۲۰۲۳). بیوسالیدز به‌عنوان راهکار پایدار که از طریق فرآیندهای زیست‌شناختی در رشد گیاه و چرخه عناصر مغذی خاک دخیل هستند، به‌طور فزاینده‌ای موردتوجه قرار گرفته است (احمدی و همکاران، ۲۰۱٤).

بیوسالیدز به‌عنوان محصول جانبی فرآیند تصفیه فاضلاب، پتانسیل بالایی در ارتقای کیفیت خاک، بهبود عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش بار دفن پسماندهای شهری دارد. مطالعات نشان می‌دهند که استفاده‌ی بهینه از بیوسالیدز منجر به افزایش مواد آلی خاک، بهبود تهویه و نگهداری آب و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موردنیاز گیاه می‌شود (راج‌کومار[3] و همکاران، ۲۰۱۰).

اگرچه مطالعات متعددی کاربرد بیوسالیدز در احیای زمین‌های تخریب‌شده و کاهش حجم زباله‌های دفنی را برجسته کرده‌اند (خالید و همکاران، ۲۰۲۲)؛ اما این ماده بی‌خطر نیست و پژوهش‌های مختلف به وجود آلاینده‌های خطرناکی مانند فلزات سنگین، ترکیبات دارویی و نانوذرات هشدار داده‌اند که می‌توانند از طریق تجمع در خاک، جذب گیاهان و نفوذ به منابع آبی، سلامت اکوسیستم و انسان را تهدید کنند (انجم و همکاران، ۲۰۱۷). در همین راستا، بازنگری استانداردهای کیفی مانند EPA[4]و بهبود فرآیندهای تصفیه و پایش دقیق کیفیت، از محورهای کلیدی آینده‌پژوهی در این حوزه هستند. درنتیجه، استفاده پایدار از بیوسالیدز مستلزم ارزیابی دقیق منابع ورودی، فرآیندهای تصفیه مؤثر، تطابق با استانداردهای سخت‌گیرانه و کاربرد علمی در بسترهای مناسب کشاورزی است تا بتوان مزایای آن را با حداقل‌سازی مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی هم‌زمان بهره‌برداری کرد.

1. Growth-promoting bacteria
2. Acetyl- CoA carboxylase -deaminase enzyme
3. Rajkumar
4. Environmental Protection Agency

اگرچه مطالعات زیادی مرتبط با اثر تنش‌های محیط در گیاهان بررسی شده است اما اطلاعات زیادی درزمینهٔ با باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری با آب دارای شوری، منجر به ارتقا شاخص‌های رشدی نسبت به نمونه‌های فاقد تلقیح گردیده است (ساندپ[1] و همکاران، ۲۰۱٦). در بررسی انجام شده در تلقیح گیاه بامیه و باکتری‌های محرک رشد گیاه نشان داده شد که تلقیح موجب ارتقا توان تحمل گیاه به شوری شده و به‌دنبال آن، بهبود شاخص‌هایی نظیر تجمع ماده خشک، غلظت رنگیزه‌های‌فتوسنتزی، سطح قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان پروتئین ریشه در شرایط تنش شوری را به همراه داشته است (حبیب[2] و همکاران، ۲۰۱٦). سویه‌های B. amyloliquefaciens و B. halotolerans به دلیل سازگاری با شرایط بیابانی و توانایی تولید اسپور، مقاومت بالا در برابر شرایط نامساعد محیطی و تولید متابولیت‌های ضدباکتری و ضدقارچ، به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد مؤثر شناخته شده‌اند. تأثیر باکتری B. amyloliquefaciens بر روی رشد گیاه یونجه تحت شرایط تنش خشکی بررسی شد. کاربرد این باکتری به‌طور قابل‌توجهی طول کل ریشه، قطر متوسط ریشه و محتوای پتاسیم و آهن را در برگ‌ها، ریشه‌ها و خاک یونجه تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد. کاهش قابل‌توجهی همچنین در محتوای سدیم در برگ‌ها و خاک یونجه تحت تیمار B. amyloliquefaciens مشاهده شد. به‌طورکلی نتیجه‌گیری شد که B. amyloliquefaciens می‌تواند به‌عنوان یک کود سبز بالقوه در کشاورزی پایدار برای بهبود مواد مغذی خاک و افزایش تولید گیاه در شرایط خشک‌سالی عمل کند (حنا و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج مثبت مشابه برای باکتری B. halotolerans در مطالعات (تانور[3] و همکاران، ۲۰۲٤) نشان داده شده است. باتوجه به گستردگی قابل‌توجه خاک‌های شور و وضعیت اقلیم گرم و خشک در ایران تغییر الگوی کشت به‌عنوان یک ضروت انکارناپذیر احساس می‌شود. گسترش روش‌های سازگار با محیط‌زیست جهت بهبود شرایط خاک و افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش شوری و درنتیجه افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان بیشتر از هر زمانی احساس می‌شود. لذا باتوجه به کم شدن تولیدات در شرایط شوری، هر اقدامی که از این روند کاهشی جلوگیری کند مثمر ثمر خواهد بود. چیا با نام علمی Salvia hispanica گیاه علفی یک‌ساله متعلق به خانواده نعنا (amiaceae) است که می‌تواند به‌عنوان یک منبع مواد خوراکی- دارویی که سرشار از مواد معدنی، فیبر، پلی‌فنل‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، اسید چرب امگا ۳، پروتئین گیاهی، کربوهیدرات‌ها و ترکیبات زیستی فعال است، کشت گردد (واسیم خلید[4] و همکاران، ۲۰۲۲). هدف از این پژوهش بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد Bacillus amyloliquefaciens و Bacillus halotolerans و کاربرد بیوسالیدز بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه چیا تحت شرایط شوری در شرایط مزرعه انجام می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده پژوهش حاضر می‌تواند نقش این باکتری‌ها را در کاهش خسارات ناشی از شور شدن خاک و مقاومت این گیاهان به تنش‌های شوری، افزایش مواد مؤثره که از نظر اقتصادی سودمندتر خواهد شد را ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل سه عاملی در طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مدت چهار ماه (از اسفند ۱٤۰۳ تا پایان خرداد ۱٤۰٤) و در شرایط مزرعه در اراضی روستای زیارتگاه شهرستان شهرضا، استان اصفهان با مختصات جغرافیایی ۵۸٤۵۱٤ و utm۳۵۳۱۵۷۹ انجام شد.

فاکتورهای این تحقیق شامل باکتری محرک رشد گیاه در چهار سطح (شامل بدون تلقیح باکتری، تلقیح با باکتری Bacillus halotolerans، تلقیح با باکتری Bacillus amyloliquefaciens و تلقیح هم‌زمان با هر دو باکتری)،

1 . Sandeep
2 . Habib
3. Tanveer
4. Waseem Khalid

شوری در چهار سطح (آب آبیاری با شوری ۰/۳ دسی زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و شوری‌های ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و بیوسالیدز در سه سطح (بدون اعمال بیوسالیدز و بیوسالیدز با ۱۰ و ۳۰ تن در هکتار) اعمال گردید. پایش شوری خاک در طول دوره آزمایش با استفاده از دستگاه EC[1] متر و از طریق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک هر ماه یک‌بار انجام شد. در هر کرت، بعد از جوانه‌زنی بذر، رشد و رسیدن ارتفاع بوته‌ها به ۱۰ سانتی‌متر، تعداد ۱۵ عدد بوته، بعد از انجام عملیات خاک‌ورزی ثانویه نگه‌داشته شد تا تراکم یکنواختی حاصل شود. بلوک‌ها با فاصله یک متر از یکدیگر مستقر شدند و درون هر بلوک، کرت‌های ۱×۱ متری با فاصله ۱,۵ متر جانمایی گردیدند. در هر کرت، ٤ ردیف کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف‌ها طراحی شد. قبل از انجام آزمایش، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک (جدول ۱) و نمونه بیوسالیدز (جدول ۲) تعیین گردید. بذور چیا در این تحقیق از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. بیوسالیدز از فاضلاب شهری تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرضا که در مجاورت هوا خشک شده تهیه گردید. سپس لجن خشک شده کوبیده و از الک شماره ۲۰ با سوراخ‌هایی به‌اندازه ۸۵۰/ میلی‌متری عبور داده شد و مورد استفاده قرار گرفت. برای با باکتری‌های محرک رشد گیاه، ۱۰۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون به تراکم سلولی تقریبی ۳×۱۰^{۸} از هر باکتری و مخلوط هر دو تهیه شد. تلقیح بذرها با شروع کشت و داخل مزرعه صورت گرفت و برای گروه شاهد به‌جای سوسپانسیون باکتریایی، تنها محلول محیط کشت مایع فاقد باکتری استفاده شد. بذرها قبل از کشت به مدت ۲ ساعت در سوسپانسیون هر باکتری قرار گرفت. از کشت بذور که از اسفند ۱٤۰۳ آغاز شد تا زمان برداشت نمونه‌های گیاهی چهار ماه طول کشید و سپس عناصر معدنی برگ‌ها، پرولین، قندهای محلول، فنل کل، کلروفیل و آنتی‌اکسیدان کل اندازه‌گیری شد. تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS ۲٦[2] ترسیم نمودارها در Excel انجام شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کلموگروف- اسمیرنوف بررسی شد، سپس تفاوت بین سطوح مختلف طریق تحلیل واریانس (ANOVA[3]) ارزیابی گردد. درنهایت، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معناداری ۰,۰۵ صورت گرفت.

نتایج

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل شوری × بیوسالید × باکتری فقط بر مقدار منیزیم و اثر متقابل باکتری × بیوسالید بر مقدار کلسیم معنی‌دار بود. اثر متقابل شوری × باکتری بر مقدار آنتی‌اکسیدان‌ها، کلروفیل a، قندهای محلول، پرولین، فنل کل، کلسیم، فسفر، پتاسیم و سدیم معنی‌دار بود. تنش شوری بر کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار بود.

اثر متقابل باکتری، بیوسالید و شوری بر مقدار منیزیم برگ گیاه چیا

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای منیزیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تلقیح با باکتری‌های B. halotolerans به‌صورت جداگانه و ترکیبی، در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر در حضور بیوسالیدز ۳۰ تن در هکتار غلظت منیزیم دارای بیشترین مقدار (۱۲۳/۹) برحسب میلی‌گرم برگرم در وزن ماده خشک شد که نسبت به شاهد و سطح ۱۰ تن در هکتار بیوسالیدز افزایش نشان داد (جدول ٤).

1 . lectrical Conductivity

2. tatistical package for social science
3 . Analysis Of Variance

جدول (۱): برخی- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه کشت چیا

Table (1): - Some physical and chemical properties of the soil of the chia cultivation field

ویژگی	خاک	ویژگی	خاک
عمق نمونه‌برداری (cm)	30	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	6.81
کربنات کلسیم (٪)	7.12	کلسیم (mg/g)	15.4
EC (dS / m)	13.2	منیزیم (mg/g)	6.25
اسیدیته PH	7.4	SP درصد اشباع (%)	27
SAR	2.31	بافت خاک	Sand-loam
(%)(RH)	12	درصد شن (%)	64.2
کربن آلی (%)	17	سیلت (%)	17.3
نیتروژن کل (%)	17.3	رس(%)	18
سدیم (mg/kg)	5.3	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	1.88
پتاسیم قابل‌جذب(mg/Kg)	184.7		

جدول (۲): برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در این آزمایش

Table 2 - Some chemical properties of irrigation water in this experiment

	برداشت آب شهری	چاه اداره آب و فاضلاب شهری شهرضا	چاه آب آبیاری شهرداری	چاه کشاورزی دشت پرزان
مختصات جغرافیایی UTM	584142-3542042	583523-3553200	587244-3545927	588095-3565224
EC (µmhos/c)	300	4200	8100	12060
PH	7.2	8.1	8.4	8.73
SAR	1.07	5.69	6.86	8.41
(mg/L) TDS	11	32	48	63
سدیم (meq/L)	3.3	9.6	14.4	18.9
پتاسیم (mg/Kg)	.091	0.08	.95	. 86
کلسیم (meq/L)	2.12	4.1	5.6	6.3
منیزیم (meq/L)	1.25	1.64	3.2	3.8
کربنات (meq/L)	.002	.96	1.44	1.89
بی‌کربنات (meq/L)	.70	4.8	7.2	9.45
کلر (meq/L)	1.42	2.8	3.00	3.1
سولفات (meq/L)	1	1.21	1.28	1.32

جدول (۳): برخی خصوصیات شیمیایی بیوسالیدز در این آزمایش

Table 3-Some chemical properties of biosolids in this experiment

پارامتر آزمون شده (ppm)	نتیجه	پارامتر آزمون شده (ppm)	نتیجه	پارامتر آزمون شده (ppm)	نتیجه
Ag (نقره)	< 1	Li (لیتیم)	65.037	La (لانتان)	< 0.5
Al (آلومینیوم)	117.324	Mg (منیزیم)	3285.35	K (پتاسیم)	15256.8
As (آرسنیک)	1.018	Mn (منگنز)	67.944	Ga (گالیم)	< 0.5
B (بور)	14.973	Mo (مولیبدن)	1.138	Fe (آهن)	235.702

پارامتر آزمون شده (ppm)	نتیجه	پارامتر آزمون شده (ppm)	نتیجه	پارامتر آزمون شده (ppm)	نتیجه
Ba (باریوم)	7.952	Na (سدیم)	777.539	Cu (مس)	5.732
Be (بریلیوم)	< 0.5	Nb(نیوبیوم)	0.905	V (وانادیوم)	<0.5
Bi (بیسموت)	< 0.5	Ni (نیکل)	2.168	Zn (روی)	17.576
Ca (%کلسیم)	0.443	P (فسفر)	3299.45	Ti (تیتانیوم)	3.77
Cd (کادمیوم)	< 0.5	Pb (سرب)	1.801	Sr (استرانسیوم)	42.06
Ce (سریوم)	< 0.5	Rb (روبیدیوم)	< 1	Sn (قلع)	0.752
Co (کبالت)	< 0.5	S (گوگرد)	724.326	Sb (آنتیموان)	<0.5
Cr (کروم)	1.372				

جدول (٤). اثر متقابل اثر متقابل باکتری، بیوسالید و شوری بر مقدار منیزیم برگ گیاه چیا

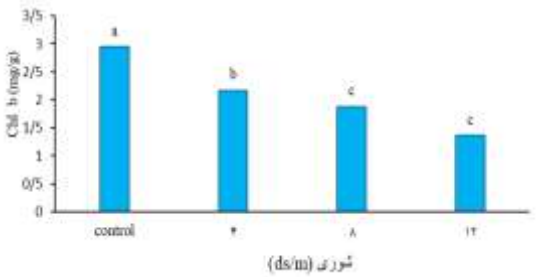
Table 4. Interaction effect of bacteria, biosolids and salinity on magnesium content of chia leaves

شوری	بیوسالیدز	بدون باکتری	B. amyloliquefaciens	B. halotolerans	ترکیب دو باکتری
0 dS/m	بدون بیوسالیدز	302.78^{m}	302.78^{m}	302.78^{m}	302.78^{m}
	۱۰ تن در هکتار	80.363^{m}	80.363^{m}	80.363^{m}	80.363^{m}
	۳۰ تن در هکتار	77.6846^{m}	77.6846^{m}	77.6846^{m}	77.6846^{m}
4 dS/m	بدون بیوسالیدز	103.67^{hijk}	$103.3^{efghijk}$	112.5^{cdefg}	110.4^{defgh}
	۱۰ تن در هکتار	104.3^{ghijkl}	$108.3^{efghijk}$	112.7^{cdefg}	110.4^{defgh}
	۳۰ تن در هکتار	114.4^{bcdef}	119.021^{abc}	123.9^{a}	121.513^{ab}
8 dS/m	بدون بیوسالیدز	101.43^{ijkl}	103.0^{hijkl}	105.3^{ghijkl}	$106.4^{fghijkl}$
	۱۰ تن در هکتار	101.4^{igkl}	103.83^{hijkl}	105.3^{ghijkl}	$106^{efghijk}l$
	۳۰ تن در هکتار	111.6^{cdefgh}	114.2^{bcdef}	115.932^{bcde}	117^{abcd}
12 dS/m	بدون بیوسالیدز	$99.^{1}$	100.0^{kl}	101.006^{jkl}	99.0^{l}
	۱۰ تن در هکتار	99.82^{kl}	101.0^{jkl}	101.383^{ijkl}	99.533^{l}
	۳۰ تن در هکتار	109.8^{defghi}	111.0^{cdefgh}	111.5^{cdefgh}	$108^{defghi}j$

حروف مشترک = عدم تفاوت معنی‌دار؛ حروف متفاوت = تفاوت معنی‌دار بر مبنای آزمون دانکن در سطح($\alpha = 0.05$)

اثر شوری بر میزان کلروفیل b برگ گیاه چیا

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای کلروفیل b به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلروفیل b نسبت به سطح بدون شوری به ترتیب ۲٦، ۳٦ و ۵۳ کاهش نشان داد.

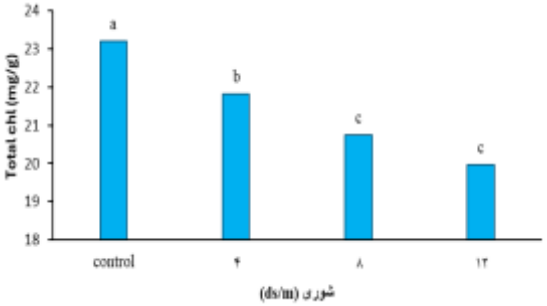


شکل (۱): اثر شوری بر مقدار کلروفیل b (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (1): Effect of salinity on chlorophyll b content (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر شوری بر میزان کلروفیل کل برگ گیاه چیا

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلروفیل کل نسبت به سطح بدون شوری به ترتیب ٦، ۱۱ و ١٤ درصد کاهش نشان داد.

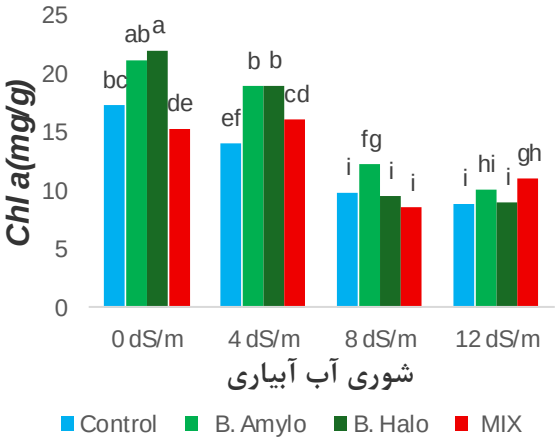


شکل (۲): اثر شوری بر مقدار کلروفیل کل برگ گیاه چیا، ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Figure (2): Effect of salinity on total chlorophyll b content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری، شوری بر میزان کلروفیل a برگ گیاه چیا

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای کلروفیل a به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلروفیل نسبت به سطح بدون شوری به ترتیب ١٩،٤٢ و ٤٨ درصد کاهش نشان داد. تلقیح هر دو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی مقدار کلروفیل را در شوری ٤ دسی زیمنس افزایش داد. این افزایش در شوری ۱۲ دسی زیمنس توسط باکتری ترکیبی و در شوری ۸ دسی زیمنس توسط باکتری B. amyloliquefaciens نیز مشاهده شد (شکل ۳).

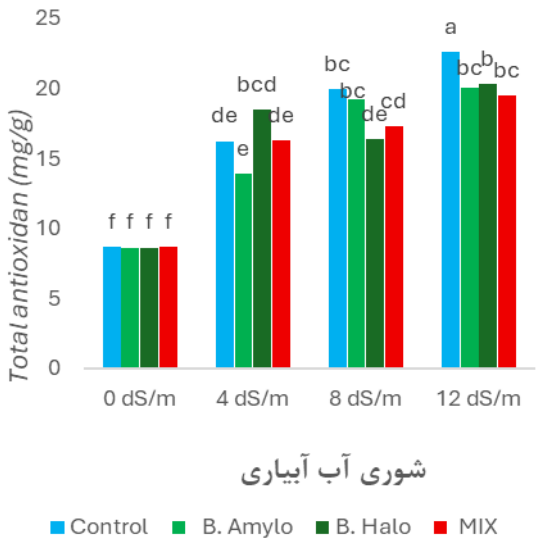


شکل (۳): اثر شوری بر مقدار کلروفیل a برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (3): The effect of salinity on the amount of chlorophyll a in chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری، شوری بر میزان آنتی‌اکسیدان کل در برگ گیاه چیا

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای آنتی‌اکسیدان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٤، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار آنتی‌اکسیدان نسبت به سطح بدون شوری به ترتیب ۸۸، ۱۳۰ و ١٦٠ درصد افزایش نشان داد. تلقیح هر دو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی مقدار آنتی‌اکسیدان را در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس کاهش داد. این کاهش در شوری ٤ توسط باکتری B. amyloliquefaciens و در شوری ۸ توسط باکتری B. halotolerans نیز مشاهده شد (شکل ٤).

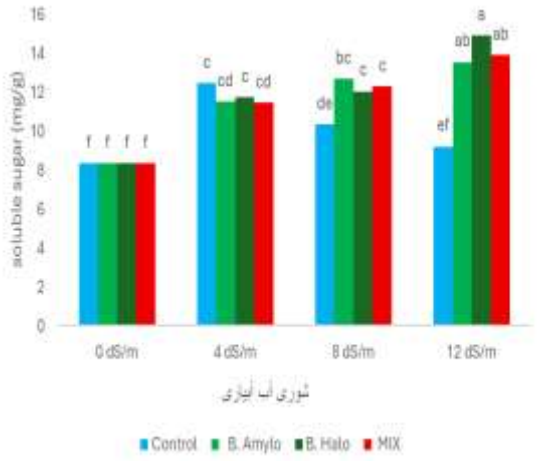


شکل (٤). اثر شوری بر مقدار آنتی‌اکسیدان کل برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (4). Effect of salinity on the total antioxidant content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری، شوری بر میزان قند محلول برگ گیاه چیا

با افزایش سطح شوری تا ٤ و ٨ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای قندهای محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار قند محلول نسبت به سطح بدون شوری ۳۰ درصد افزایش نشان داد. تلقیح هردو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی منجر به افزایش معنی‌دار مقدار قند محلول گردید، به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر مقدار باکتری B. amyloliquefaciens، B. halotolerans و ترکیبی به ترتیب باعث افزایش ۳۸، ٤٤ و ۳۹ درصد در محتوای قند محلول نسبت به شاهد بدون باکتری گردید (شکل ۵).

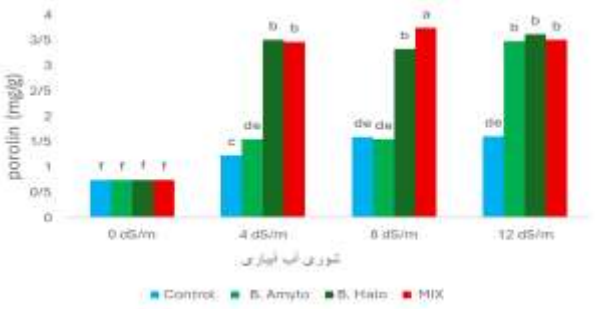


شکل (۵). اثر شوری بر مقدار قند محلول برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (5). Effect of salinity on the soluble sugar content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و شوری بر مقدار پرولین برگ گیاه چیا

با افزایش سطح شوری تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای پرولین به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح بدون شوری افزایش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پرولین نسبت به سطح بدون شوری ۱۱۳ درصد افزایش نشان داد. تلقیح هر دو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی مقدار پرولین را ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، باکتری B. halotolerans و ترکیب دو باکتری تجمع پرولین نسبت به تیمار بدون باکتری را افزایش دادند به‌طوری‌که ترکیب دو باکتری باعث افزایش ۱۳۷ درصدی مقدار پرولین گردید (شکل ٦).

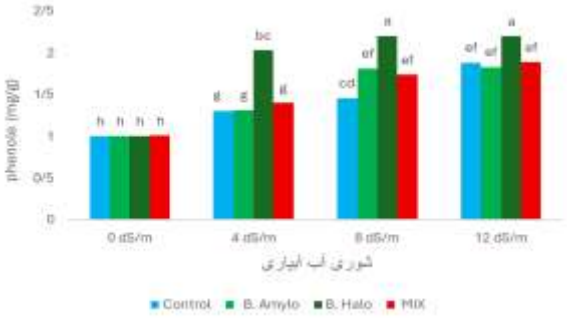


شکل (٦). اثر شوری بر مقدار پرولین برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (6). Effect of salinity on proline content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و شوری بر میزان فنل کل برگ گیاه چیا

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای فنل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٤، ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار آنتی‌اکسیدان نسبت به سطح بدون شوری به ترتیب ۲۹، ٤٥ و ٨٨ درصد افزایش نشان داد. تلقیح هر دو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی مقدار آنتی‌اکسیدان را در شوری ٨ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد. این افزایش برای باکتری B. halotolerans (٥١ درصد) به دست آمد. در شوری ٤ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر فقط باکتری B. halotolerans باعث افزایش معنی‌دار فنل گردید (شکل ٧).

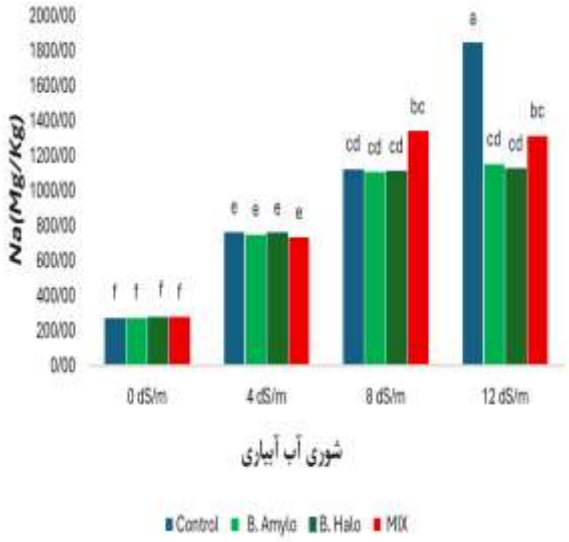


شکل (٧). اثر شوری بر مقدار فنل برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (7). Effect of salinity on phenolic content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و شوری بر مقدار سدیم برگ گیاه چیا

با افزایش سطح شوری آب آبیاری تا ٤، ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت سدیم در بافت گیاهی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این افزایش به ترتیب ۱۷۹، ۲۳۸ و ۵۷۵ درصد اندازه‌گیری شد. تلقیح باکتری‌های B. amyloliquefaciens، B. halotolerans و تیمار ترکیبی منجر به کاهش معنی‌دار غلظت سدیم در شوری ١٢ دسی‌زیمنس بر متر شد، به‌طوری‌که تیمارهای مذکور به ترتیب باعث کاهش ۲۹، ٣٤ و ٣٢ درصد در غلظت سدیم نسبت به شاهد بدون باکتری شدند (شکل ٨).



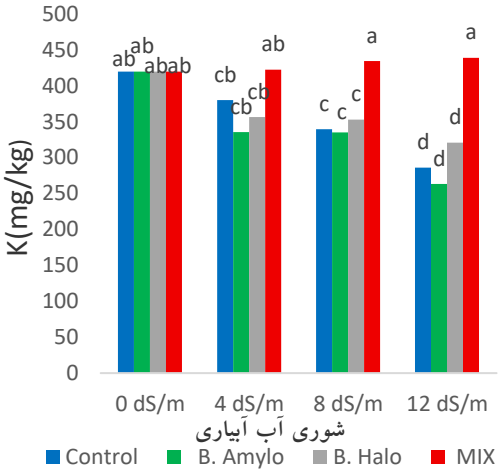
شکل (٨). اثر شوری بر مقدار سدیم برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (8). Effect of salinity on sodium content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و شوری بر مقدار پتاسیم برگ گیاه چیا

با افزایش سطح شوری آب آبیاری تا ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت پتاسیم در بافت گیاهی کاهش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٨ و ١٢ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پتاسیم نسبت به سطح بدون شوری به ترتیب

۱۹ و ۳۲ درصد کاهش نشان داد. تلقیح ترکیبی هر دو باکتری منجر به افزایش غلظت پتاسیم در شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شد (شکل ۹).

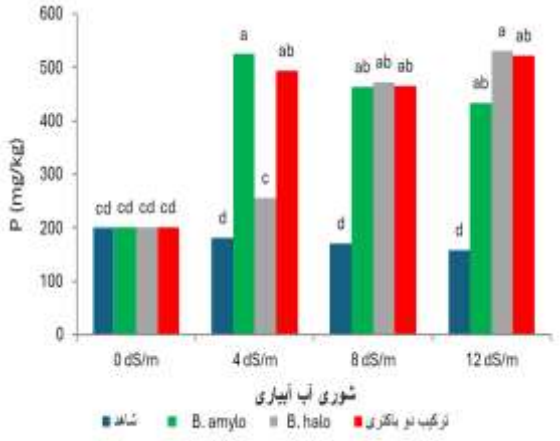


شکل (۹). اثر شوری بر مقدار پتاسیم برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (9). Effect of salinity on potassium content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و شوری بر مقدار فسفر برگ گیاه چیا

با افزایش سطح شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای فسفر به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح بدون شوری کاهش یافت. در شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر، B. amyloliquefaciens موجب افزایش ۷۱ درصدی مقدار فسفر نسبت به تیمار شاهد بدون باکتری شد. در این سطح شوری ترکیب دو باکتری نیز مقدار فسفر را افزایش دادند. در شوری ۸ و ۱۲ دسی زیمنس هم تلقیح باکتریایی مقدار فسفر را افزایش دادند (شکل ۱۰).

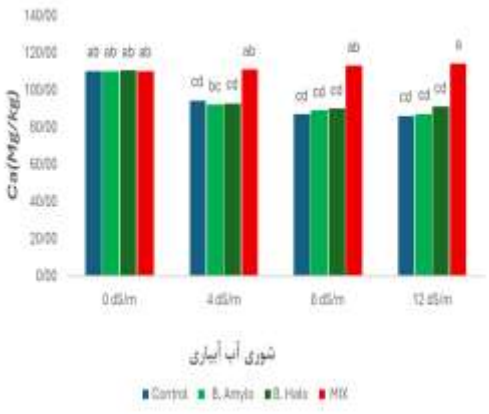


شکل (۱۰). اثر شوری بر مقدار فسفر برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (10). Effect of salinity on phosphorus content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و شوری بر مقدار کلسیم برگ

با افزایش سطح شوری آب آبیاری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت کلسیم در بافت گیاهی کاهش یافت، به‌طوری‌که در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلسیم نسبت به سطح بدون شوری ۱۵ درصد کاهش نشان داد. ترکیب دو باکتری در هر سه دوز شوری مقدار کلسیم را افزایش داد (شکل ۱۱).

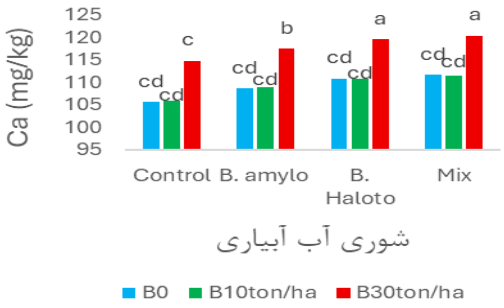


شکل (۱۱). اثر شوری بر مقدار کلسیم برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند).

Figure (11). Effect of salinity on calcium content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

اثر متقابل باکتری و بیوسالید بر میزان کلسیم برگ گیاه چیا

کاربرد بیوسالید به مقدار ۳۰ تن در هکتار در تمام تیمارهای باکتریایی و شاهد مقدار کلسیم را در گیاه چیا افزایش داد. تلقیح هر دو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیب در اعمال بیوسالیدز ۳۰ تن در هکتار مقدار کلسیم را در گیاه چیا به‌طور معنی‌دار افزایش داد به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلسیم نسبت به تیمار بدون بیوسالیدز هم سطح ۱۰ درصد افزایش نشان داد.



شکل (۱۲)، اثر متقابل باکتری و بیوسالید بر میزان کلسیم برگ گیاه چیا (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند)

Figure (12), The interaction effect of bacteria and biosolids on the calcium content of chia leaves (columns with the same letters do not have a significant difference at the 5% probability level).

بحث و نتیجه‌گیری

شوری، به‌عنوان یکی از شایع‌ترین اشکال تخریب خاک، منجر به اختلال در رشد و کاهش عملکرد محصولات از طریق مکانیسم‌های متعددی ازجمله برهم زدن تعادل یونی و تغذیه‌ای می‌گردد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد متحمل به شوری که واجد قابلیت‌های متعددی درزمینهٔ بهبود رشد گیاه هستند، می‌تواند اثرات زیان‌بار ناشی از شوری را تعدیل نموده و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه را ارتقاء بخشد (اعتصامی و همکاران، ۲۰۱۸).

در این پژوهش با افزایش سطح شوری، غلظت یون سدیم افزایش و غلظت پتاسیم در بافت گیاهی کاهش یافت. در شرایط تنش شوری، محدودیت در تجمع سدیم و حفظ جذب پتاسیم که منجر به نسبت بالای پتاسیم به سدیم می‌شود، به‌عنوان معیارهای کلیدی تحمل به شوری در گیاهان در نظر گرفته می‌شود (کومار[1] و همکاران، ۲۰۲۰) گیاهان در پاسخ به شوری با دو چالش عمده‌ی تنش اسمزی و اختلال تعادل یونی مواجه می‌شوند. یکی از راهکارهای مقابله، تنظیم اسمزی از طریق تجمع یون‌هایی نظیر سدیم و پتاسیم، به‌جای سنتز ترکیبات آلی پرهزینه از نظر کربن است (مونس[2] و همکاران، ۲۰۰۸). به دلیل تشابه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، یون‌های سدیم و پتاسیم برای ورود به سلول با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. درنتیجه، تحت شرایط شوری که غلظت سدیم در محیط ریشه بالا است، جذب پتاسیم مختل شده و نسبت پتاسیم به سدیم درون سلول کاهش می‌یابد.

باکتری‌های محرک رشد گیاه با تسهیل انحلال اشکال معدنی پتاسیم، قابلیت جذب این عنصر را در ناحیه ریشه افزایش می‌دهند (اعتصامی و همکاران، ۲۰۱۰). این مکانیسم، امکان برقراری مجدد تعادل یونی را از طریق تسهیل انتقال پتاسیم به بخش هوایی و تخصیص سدیم به ریشه‌ها برای گیاه فراهم می‌نماید (ادریس[3] و همکاران، ۲۰۰۷). عملکرد باکتری‌های B. amyloliquefaciens، B. halotolerans و تیمار ترکیبی در پژوهش حاضر منجر به کاهش معنی‌دار غلظت سدیم و افزایش غلظت پتاسیم شد؛ که با نتایج مطالعات دیگر در این زمینه (ادریس و همکاران، ۲۰۰۷؛ کومار[4] و همکاران، ۲۰۲۰) مطابقت دارد.

غلظت فسفر در برگ گیاه چیا تحت تأثیر تنش شوری با افزایش سطح شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. در پژوهش حاضر، عملکرد باکتری‌های B. amyloliquefaciens، B. halotolerans و تیمار ترکیبی مورد استفاده باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ در سطوح مختلف تنش شوری شدند. فسفر به‌عنوان یک عنصر ضروری در رشد و ترمیم گیاهی، نقش کلیدی در

1. umar
2. Munns
3. dris
4. Kumar

ذخیره و انتقال انرژی دارد. این عنصر در فرآیند فتوسنتز مشارکت فعال داشته و برای تقسیم سلولی و تشکیل ریبونوکلئیک اسید و دئوکسی‌ریبونوکلئیک اسید ضروری است. میزان متوسط فسفر در خاک‌ها حدود پنج‌صدم درصد وزنی است که تنها یک‌دهم درصد از آن به‌صورت آنیون‌های محلول دی هیدروژن فسفات و هیدروژن فسفات قابل‌جذب برای گیاهان می‌باشد (سینگ[1] و همکاران، ۲۰۱۷). با وجود اهمیت فسفر در رشد و توسعه گیاه، شرایط تنش شوری منجر به کاهش دسترسی و کارایی جذب این عنصر توسط گیاهان می‌شود. این کاهش عمدتاً ناشی از رقابت بین آنیون‌های دی‌هیدروژن‌فسفات و کلرید در سطح ریشه برای جذب فعال است (گوترال و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه‌بر این، تنش شوری موجب اختلال در انتقال فسفر از ریشه به اندام‌های هوایی شده و درنتیجه، توزیع درون‌گیاهی این عنصر را محدود می‌سازد. چنین محدودیتی درنهایت با کاهش جذب و انتقال فسفر، رشد گیاه را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (کومار و همکاران، ۲۰۱۷). بااین‌وجود در صورت تنش شوری، باز هم امکان استفاده از فسفر برای گیاه کاهش‌یافته که این ناشی از رقابت بین یون-های دی‌هیدروژن *فسفات*[2] و کلراید در جذب توسط ریشه (مکسیموویکو[3] همکاران، ۲۰۱۲) و نیز مشکل انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه در شرایط شوری بوده که درنتیجه کاهش رشد گیاه را به دنبال دارد (اعتصامی و همکاران، ۲۰۲۱). ازجمله راهکارهای مؤثر در بهبود تغذیه فسفری گیاهان، معدنی‌سازی ترکیبات آلی فسفر و انحلال فرم‌های معدنی آن است. فرآیند معدنی‌سازی عمدتاً از طریق تولید آنزیم‌هایی نظیر فسفاتاز و فیتاز صورت می‌گیرد که موجب آزادسازی فسفر قابل‌جذب از منابع آلی می‌شوند (کومار و همکاران، ۲۰۱۷). در مقابل، انحلال ترکیبات معدنی فسفر با ترشح اسیدهای آلی مانند گلوکونیک اسید و سیتریک اسید توسط میکروارگانیسم‌ها تسهیل می‌گردد (گوتوال[4] و همکاران، ۲۰۰۷). شایان توجه است که برخی سویه‌های باکتریایی قادرند هر دو مکانیسم یادشده را به‌طور هم‌زمان به‌کارگیرند که این ویژگی می‌تواند نقش مهمی در افزایش کارایی جذب فسفر توسط گیاهان ایفا کند (سینگ و همکاران، ۲۰۱۷). افزون بر نقش شناخته‌شده در مهار عوامل بیماری‌زا، شواهد اخیر نشان می‌دهد که تولید سیانید هیدروژن توسط برخی باکتری‌ها می‌تواند به‌طور غیرمستقیم در افزایش فراهمی فسفر در ناحیه ریزوسفر مؤثر باشد. این اثر از طریق تشکیل کمپلکس بین سیانید هیدروژن و فلزات متصل به فسفر، منجر به آزادسازی فسفر و درنتیجه بهبود دسترسی گیاه به این عنصر حیاتی می‌گردد (ساشید و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش فسفر درنتیجه فعالیت باکتری‌های محرک رشد، در مطالعات متعددی تأیید شده است (اعتصامی و همکاران،۲۰۲۱؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش سطح شوری آب آبیاری، میزان کلسیم در اندام‌های گیاهی کاهش قابل‌توجهی پیدا کرد. کلسیم، عملکردی بنیادین در پایداری ساختاری و عملیاتی غشاها و دیواره سلولی ایفا نموده که از طریق ایجاد اتصالات بین‌مولکولی، راه‌اندازی آنزیم‌های خاص و هماهنگ‌سازی فرآیندهای درون‌سلولی محقق می‌شود (جاها و همکاران، ۲۰۱۵). موقعیت تنش ناشی از شوری، یون‌های سدیم با ایجاد اختلال در جابه‌جایی کلسیم از طریق ریشه و تصاحب محل‌های اتصال در غشای سلولی، باعث کاهش محتوای کلسیم برگ می‌گردند (هادی و همکاران، ۲۰۱۲). در این مطالعه، ترکیب دو باکتری.B. amyloliquefaciens ، B. halotolerans در هر سه دوز تیمارهای شوری میزان کلسیم برگ را، افزایش داد که هم‌سو با یافته‌های پژوهشی دیگر در مورد تأثیر باکتری‌ها محرک رشد بر بهبود جذب کلسیم در تحت تنش شوری می‌باشد (نواز[5] و همکاران، ۲۰۲۰؛ جاها[6] و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعات نشان داده است که باکتری‌های

1. Singh
2. H2PO4
3. Maksimovic
4. Gothwal,
5. Nawaz
6. Jha

محرک رشد قادر به تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز هستند که می‌توانند در آزادسازی کلسیم از ترکیبات غیرقابل‌حل نقش داشته باشند (چن[1] و همکاران، ۲۰۱۸). باتوجه به اینکه در شرایط شوری، کلسیم ممکن است در ترکیبات غیرمحلول با فسفر تثبیت شود (پریرا[2] و همکاران، ۲۰۱۹)، افزایش غلظت کلسیم در این تحقیق می‌تواند ناشی از قابلیت باکتری‌ها در تولید اسیدهای آلی و رهاسازی کلسیم از این ترکیبات باشد.

این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح شوری تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر، محتوای پرولین به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح بدون شوری افزایش یافت. پرولین به‌عنوان یکی از اسیدهای آمینه تجمع‌یابنده در شرایط تنش، نقش مهمی در تنظیم تعادل اسمزی گیاهان ایفا می‌کند. این ترکیب علاوه‌بر کمک به حفظ پتانسیل آب سلولی، در کاهش سمیت ناشی از تجمع یون سدیم نیز مؤثر است و از این طریق به افزایش تحمل گیاه در برابر تنش شوری کمک می‌نماید (اوانس[3] و همکاران، ۱۹۹٤). در این مطالعه، تلقیح باکتری‌های B. amyloliquefaciens، B. halotolerans و تیمار ترکیبی مورد استفاده باعث افزایش معنی‌دار غلظت پرولین برگ گیاه چیا در سطوح مختلف تنش شوری شدند. مطالعات نشان داده‌اند که باکتری‌های محرک رشد گیاه نظیر Bacillus amyloliquefaciens و Bacillus halotolerans با بهره‌گیری از مکانیسم‌های مختلف ازجمله تولید فیتوهورمون‌ها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سیدروفورها و پلی‌ساکاریدهای خارج‌سلولی، نقش مؤثری در افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری ایفا می‌کنند. همچنین تلقیح گیاهان با این سویه‌ها موجب افزایش تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی، بهبود تعادل اسمزی، کاهش سمیت یون‌های سدیم و ارتقا شاخص‌های رشد می‌شود (پریراو[4] همکاران، ۲۰۱۹). به‌عنوان‌مثال، B. amyloliquefaciens با تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با سنتز پرولین و تقویت مسیرهای گلوتامات‌محور، در گیاهان گوجه‌فرنگی و برنج تحت تنش شوری عملکرد مطلوب‌تری ایجاد کرده است (سونی[5] و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین B. halotolerans با توانایی بالا در تحمل، نمک و تولید ترکیبات زیستی فعال، در گیاهان گندم و نخل خرما موجب افزایش محتوای پرولین و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو شده است (پریرا و همکاران،۲۰۱۰).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری باعث افزایش معنادار غلظت قندهای محلول در برگ‌های گیاه چیا گردید. تجمع قندهای محلول یکی از مکانیسم‌های کلیدی در تنظیم اسمزی گیاهان تحت شرایط شور محسوب می‌شود، به‌گونه‌ای که با کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌ها، جذب آب تسهیل شده و تعادل آبی گیاه حفظ می‌گردد. این افزایش در محتوای قندهای محلول ممکن است ناشی از تجزیه ترکیبات ذخیره‌ای مانند نشاسته به قندهای ساده باشد. (حسن اوزمان[6] و همکاران،۲۰۲۰). تلقیح هردو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی منجر به افزایش معنی‌دار مقدار قند محلول گردید که این با مطالعات پیشین که نقش قندهای محلول در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از طریق تثبیت ساختار سلولی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو تأکید کرده‌اند همسو است (اشرف[7] و همکاران، ۲۰۰۵؛ سونی و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری موجب کاهش معنادار محتوای کلروفیل گردید. در مقابل کاربرد باکتری‌ها از طریق افزایش محتوای کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی، نیاز متابولیکی گیاه به تجزیه کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای (نظیر آمیلوز و آمیلوپکتین) برای تأمین گلوکز را کاهش داد. این مکانیسم موجب افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول در مقایسه با تیمار شاهد شد. یکی دیگر از نتایج، افزایش مقدار فنل و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه چیا با افزایش سطح شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. تنش‌های محیطی نظیر شوری با ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، ازجمله کاهش دسترسی به دی‌اکسید

1. Chen
2. Pereira
3. Evans
4-Pereira

5. Sony
6. Hasanuzzaman
7. Ashraf

کربن و مهار تثبیت کربن موجب کاهش تولید اکسیژن مولکولی در کلروپلاست‌ها می‌گردند. این اختلالات منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن[1] شده که با آسیب‌رسانی به ساختارهای سلولی، به‌ویژه کلروپلاست‌ها، عملکرد فتوسنتزی گیاه را به‌طور قابل‌توجهی مختل می‌سازند .افزایش ROSدر شرایط تنش، با پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین‌ها و آسیب به DNA همراه بوده و در صورت عدم کنترل، منجر به کاهش رشد و بهره‌وری گیاه می‌شود (حسن اوزمان و همکاران،۲۰۲۰). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD)، به‌همراه ترکیبات فنلی، نقش حیاتی در دفاع سلولی گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو ایفا می‌کنند. این ترکیبات با خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، ازجمله تبدیل سوپراکسید به پراکسید هیدروژن و درنهایت به آب، از آسیب به مولکول‌های زیستی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها جلوگیری می‌نمایند عملکرد هماهنگ این سیستم‌های دفاعی موجب کاهش شدت تنش اکسیداتیو و حفظ پایداری ساختارهای سلولی در شرایط نامساعد محیطی می‌شود. مطالعات متعددی نیز بر نقش ترکیبات فنلی در تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان و تنظیم پاسخ‌های دفاعی تأکید کرده‌اند (حسن‌اوزمان و همکاران، ۲۰۲۰).

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح شوری، مقادیر کلروفیل a کاهش یافت. کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط شوری می‌تواند ناشی از اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی ضروری ازجمله پتاسیم، منیزیم)، آهن (حسن اوزمان و همکاران، ۲۰۲۰) باشد. این کاهش در جذب عناصر، تأثیر مستقیمی بر سنتز و پایداری کلروفیل دارد. این کاهش همچنین می‌تواند به دلیل تخریب کلروفیل با افزایش سدیم در سطوح مختلف شوری یا فعالیت، ترکیبات فنلی و درنتیجه تجزیه کلروفیل باشد (اورائی[2] و همکاران،۲۰۰۹)). کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان با افزایش تنش شوری، در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (صدیق و همکاران، ۲۰۲۰). در مقابل، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه در این پژوهش باعث افزایش مقدار کلروفیل در سطح بدون شوری شد. افزایش معنادار محتوای کلروفیل در برگ‌های گیاهان تحت تنش شوری در تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه، می‌تواند به تولید سیدروفور توسط این باکتری‌ها نسبت داده شود. سیدروفورها با افزایش دسترسی گیاه به آهن که عنصر کلیدی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شود، نقش مؤثری در حفظ و ارتقا ظرفیت فتوسنتزی گیاهان ایفا می‌کنند (نواز و همکاران، ۲۰۲۰) افزون بر این، تولید فیتوهورمون‌هایی نظیر اکسین، به‌ویژه ایندول-۳ -استیک اسید (IAA)، توسط PGPR نیز در افزایش غلظت کلروفیل نقش برجسته‌ای دارد؛ که مطالعات اخیر نیز تأیید کرده‌اند که سویه‌های باکتریایی دارای چندین ویژگی محرک رشد، ازجمله تولید IAA و سیدروفور، می‌توانند به‌طور هم‌زمان در بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان تحت تنش شوری مؤثر باشند (نواز و همکاران، ۲۰۲۰). یکی دیگر از نتایج این پژوهش کاربرد بیوسالید به مقدار ۳۰ تن در هکتار در تمام تیمارهای باکتریایی و شاهد مقدار کلسیم را در گیاه چیا افزایش داد. تلقیح هر دو باکتری به‌طور جداگانه و ترکیبی در اعمال بیوسالیدز ۳۰ تن در هکتار مقدار کلسیم را در گیاه چیا به‌طور معنی‌دار افزایش داد به‌طوری‌که در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار کلسیم نسبت به تیمار بدون بیوسالیدز هم سطح شوری ۱۰ درصد افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد که این افزایش به دلیل تحمل به شوری از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید اکسین، حل‌کنندگی فسفات و کاهش تنش اکسیداتیو بوده است؛ که این نتایج با نتایج (پریرا و همکاران، ۲۰۱۹) منطبق می‌باشد.

این مطالعه نشان داد که شوری با مختل کردن هموستازی یونی و القای استرس اکسیداتیو، چالش اصلی برای گیاه است، اما تلقیح باکتری‌های B. halotolerans و B. amyloliquefaciens (به‌ویژه به‌صورت ترکیبی) با مکانیسم‌های چندگانه (تعدیل جذب عناصر، افزایش اسمولیت‌ها، تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی) تحمل چیا به

1. ROS
2. Oraei

شوری را تا سطح ۸ دسی زیمنس بر متر بهبود می‌بخشند. در مقابل، کاربرد بیوسالیدز به‌تنهایی راهبرد مؤثری نیست، اما پتانسیل آن در تعامل با میکروارگانیسم‌ها برای تأمین عناصر معدنی قابل‌توجه است. یافته‌های تحقیق حاضر بر ضرورت ادغام رویکردهای میکروبیولوژیک و مدیریت منابع آلی در برنامه‌های اصلاح اراضی شور تأکید دارد که این رویکرد می‌تواند با کاهش قابل‌توجه خسارات ناشی از شور شدن خاک، مکانیسم‌های مقاومت گیاه را تقویت کرده و از این طریق، هم بر عملکرد فیزیولوژیکی گیاه چیا تأثیر مثبت بگذارد که پیامدهای اقتصادی مطلوبی را به همراه خواهد داشت.

منابع

1. Ahmadi, M., Rezaei, N., & Karami, A. (2019). Effect of salinity on growth and performance of rangeland species in arid regions. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, *27*(3), 45–60.

2. Anjum, N. A., Ahmad, I., Mohmood, I., Pacheco, M., Duarte, A. C., Pereira, E., & Prasad, M. N. V. (2017). Modulation of glutathione and its related enzymes in plants' responses to toxic metals and metalloids—A review. Environmental and Experimental Botany, *75*, 307–324.

3. Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2005). Abiotic stresses: Plant resistance through breeding and molecular approaches. Haworth Press.

4. Atta, M. I., Bakhsh, A., Arshad, M., & Ullah, S. (2023). Soil salinity: A global threat to sustainable agriculture. In Climate change impacts on agriculture (pp. 301–320). Springer.

5. Chen, M., Yang, Z., Liu, J., Zhu, T., Wei, X., Fan, H., & Wang, B. (2018). Adaptation mechanism of salt excluders under saline conditions and its applications. International Journal of Molecular Sciences, *19*(11), 1–13.

6. Etesami, H., & Beattie, G. A. (2010). Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. Frontiers in Microbiology, *9*, 148.

7. Evans, M. L., Hikawa, H., & Estelle, M. A. (1994). Responses of Arabidopsis roots to auxin studied with high temporal resolution: Comparison of wild type and auxin-response mutants. Planta, *194*, 215–222.

8. Gothwal, R. K., Nigam, V. K., Mohan, M. K., Sasmal, D., & Ghosh, P. (2007). Screening of nitrogen fixers from rhizospheric bacterial isolates associated with important desert plants. Applied Ecology and Environmental Research, *6*, 101–109.

9. Habib, S. H., Kausar, H., & Saud, H. M. (2016). Plant growth-promoting rhizobacteria enhance salinity stress tolerance in okra through ROS-scavenging enzymes. BioMed Research International, *2016*, Article 6284547.

10. Hadi, M. R., & Karimi, N. (2012). The role of calcium in plant's salt tolerance. Journal of Plant Nutrition, *35*(13), 2037–2054.

11. Haji Abadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Hadi Rad, M., Shahbazi, Sh., & Etesami, H. (2021). [Study on the effect of growth promoting potential of rhizobacteria isolated from some halophyte rangeland species on vegetative growth and ion content of wheat]. Journal of New Findings in Biological Sciences, *8*(2), 104–117. [In Persian]

12. Hanaa, H., & Safaa, A. (2005). Foliar application of IAA at different growth stages and their influenced on growth and productivity of bread wheat (Triticum aestivum l.). Journal of Physics: Conference Series, *1294*(9), 092019.

13. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Zulfiqar, F, Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M, & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants, *9*(8), 681.

14. Idris, E. E., Iglesias, D. J., Talon, M., & Borriss, R. (2007). Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by Bacillus amyloliquefaciens FZB42. Molecular Plant-Microbe Interactions, *20*(6), 619–626.

15. Jha, C. K., & Saraf, M. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. Journal of Agricultural Research and Development, *5*(2), 108–119.

16. Khalid, W., Arshad, M. S., Ranjha, M. M. A. N., Różańska, M. B., Irfan, S., Shafique, B., & Kędzierska-Matysek, M. (2022). Chia seeds (*Salvia hispanica* L.): A therapeutic weapon in metabolic disorders. Food Science & Nutrition, *11*(1), 3–16.

17. Kumar, J., Singh, S., Singh, M., Srivastava, P. K., Mishra, R. K., & Singh, V. P. (2017). Transcriptional regulation of salinity stress in plants: A short review. Plant Gene, *11*, 160–169.

18. Maksimovic, I., & Ilin, Ž. (2012). Effects of salinity on vegetable growth and nutrients uptake. In T. S. Lee (Ed.), Irrigation systems and practices in challenging environments (pp. 169–190). IntechOpen.

19. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, *59*, 651–681.

20. Najafi Zilaei, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M. (2022). [Investigation of the effect of plant growth-promoting bacteria on morphological and physiological characteristics of three halophyte species (Nitraria schoberi, Haloxylon aphyllum, and Seidlitzia rosmarinus) under salinity and dust stresses] [Doctoral dissertation, Yazd University]. [In Persian]

21. Nawaz, A., Shahbaz, M., Asadullah, Imran, A., Marghoob, M. U., Imtiaz, M., & Mubeen, F. (2020). Potential of salt tolerant PGPR in growth and yield augmentation of Wheat (Triticum aestivum L.) under

22. Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E., & Imani, A. (2009). The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of almond. Journal of Horticulture Science and Biotechnology, *23*(2), 121–140. [Note: Journal title may need verification for standard English title]

23. Pereira, L. B., Andrade, G. S., Meneghin, S. P., Vicentini, R., & Ottoboni, L. M. M. (2019). Prospecting plant growth-promoting bacteria isolated from the rhizosphere of sugarcane under drought stress. Current Microbiology, *76*, 1345–1354.

24. Saddiq, M. S., Afzal, I., Basra, S. M. A., Iqbal, S., & Ashraf, M. (2020). Sodium exclusion affects seed yield and physiological traits of wheat genotypes grown under salt stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, *20*(3), 1442–1456.

25. Sadeghian, M., Askari, H., Soltani Najaf Abadi, M., & Nematzadeh, G. (2018). [The effect of salinity-resistant plant growth-promoting bacteria on growth and resistance of wheat under salinity stress conditions]. Iranian Journal of Field Crop Science, *49*(1), 45–56. [In Persian]

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

27. Singh, R., & Jha, P. (2017). The PGPR Stenotrophomonas maltophilia SBP-9 augments resistance against biotic and abiotic stress in wheat plants. Frontiers in Microbiology, *8*, 1945.

28. Soni, S. K., Singh, R., Singh, M., Awasthi, A., Wasnik, K., Kalra, A., & Gupta, V. K. (2021). Salt-tolerant and plant growth-promoting Bacillus isolated from saline soil enhance plant growth of Triticum aestivum (L.). 3 Biotech, *11*(1), 18.

29. Tannour, S., Author, B., & Colleague, C. (2024). Title of the study on B. halotolerans. Journal Name, Volume(Issue),. *1/*(1), 11.

30. Wang, R., Wang, C., Feng, Q., Liou, R. M., & Lin, Y. F. (2021). Biological inoculant of salt-tolerant bacteria for plant growth stimulation under different saline soil conditions. Journal of Microbiology and Biotechnology, *31*(3), 398–407.

31. Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G., & Van der Lee, J. J. (1989). Soil and plant analysis, Part 7: Plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University.

32. Zafar-ul-Hye, M., Bhutta, T. S., Shaaban, M., Hussain, S., Qayyum, M. F., Aslam, U., & Zahir, Z. A. (2019). Influence of plant growth promoting rhizobacterial inoculation on wheat productivity under soil salinity stress. Phyton, *88*(2), 119–129.

33. Zhang, H., Xie, X., Kim, M. S., Kornyeyev, D. A., Holaday, S., & Paré, P. W. (2008). Soil bacteria augment Arabidopsis photosynthesis by decreasing glucose sensing and abscisic acid levels in planta. The Plant Journal, *56*(2), 264–273.

34. Zhang, X., Fan, X., Li, C., & Nan, Z. (2010). Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and antioxidative enzymes in Achnatherum inebrians plants infected with a Neotyphodium endophyte. Plant Growth Regulation, *60*, 91–97.

35. Zhao, Y., Lu, Z., & He, L. (2014). Effects of saline-alkaline stress on seed germination and seedling growth of Sorghum bicolor (L.) Moench. Applied Biochemistry and Biotechnology, *173*, 1680–1691.

36. Alikhani, H. A., Etesami, H., & Mohammadi, L. (2018). [Evaluation of the effect of rhizospheric and non-rhizospheric phosphate solubilizing bacteria on improving growth indices of wheat under salinity and drought stress]. Soil Biology Journal, *6*(1), 1–15. [In Persian]

saline conditions. Frontiers in Microbiology, *11*, 201.

The Effect of the Growth-Promoting Bacteria Bacillus amyloliquefaciens and Bacillus halotolerans and the Application of Biosolids on the Physiological Characteristics of *Salvia hispanica* Under Saline Conditions

Ramazan Ghobadpour[1], Mohammad Ali Hakimzadeh Ardakani[2]*, Asghar Mosleh Arani[3], Hamid Sodaeizadeh[4], Maryam El-Sadat Mirbagheri Firouzabad[5]

Receive: 2025/11/17 **Accept: 2026/04/30**

Extended Abstract

Introduction

Salinity stress, resulting from the accumulation of salts in the soil, is one of the most common environmental stresses in arid regions, disrupting plant growth and productivity. Numerous efforts are underway to develop sustainable solutions to enhance plant resistance to environmental stresses. In this regard, the use of innovative approaches such as plant breeding, soil improvement, and biotechnology has become a major research priority at the global level. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) can neutralize the destructive effects of stress and enhance plant performance by utilizing adaptive mechanisms. These microorganisms improve plant growth and development indicators through several mechanisms, acting either directly or indirectly. The direct effects of these bacteria include increasing nutrient availability through the solubilization of poorly soluble compounds, the production of siderophores, the activity of ACC deaminase, the synthesis of plant hormones, and nitrogen fixation. Their indirect effects, operating through competitive or inhibitory mechanisms—such as competition with pathogens, production of antibiotics, fungicidal compounds, lytic enzymes, and hydrogen cyanide—reduce the harmful effects of pathogens and promote plant growth. Meanwhile, biosolids have been increasingly considered as a sustainable solution that contributes to plant growth and soil nutrient cycling through biological processes.

Materials and Methods

This research was conducted as a three-factorial factorial experiment within a completely randomized block design with three replications over a period of four months (from March 2024 to the end of June 2025) under field conditions in the lands of Ziaratgah village, Shahreza city, Isfahan province, with geographical coordinates of 584514 and 3531579 UTM. The experimental factors included: plant growth-promoting bacteria at four levels (no bacterial inoculation, inoculation with Bacillus halotolerans, inoculation with Bacillus amyloliquefaciens, and simultaneous inoculation with both bacteria); salinity at four levels (irrigation water with a salinity of 0.3 dS/m as control, and salinities of 4, 8, and 12 dS/m); and biosolids at three levels (no biosolids application, and biosolids application at 10 and 30 tons/ha). Soil salinity was monitored during the experimental period using an EC meter, with soil samples collected from a depth of 0 to 30 cm once per month. In each plot, after seed germination and growth to a height of 10 cm, 15 plants were maintained following secondary tillage to achieve uniform density. Blocks were spaced one meter apart, and within each block, 1 × 1 m plots were placed 1.5 m apart. In each plot, four rows of crops were designed with a spacing of 30 cm between rows and 25 cm within rows. Before the experiment, the physical and chemical properties of the soil sample (Table 1) and the biosolids sample (Table 2) were determined. Chia seeds used in this study were provided by Pakan Bazr Company of Isfahan. Biosolids were obtained from urban sewage from the Shahreza urban sewage treatment

1. PhD Student in Desert Management and Control, Yazd University, Yazd, Iran - rghobadpoor1363@gmail.com
2. Associate Professor, Yazd University, Faculty of Natural Resources and Desert Studies - Department of Arid and Desert Management, hakim@yazd.ac.ir
3. Professor, Yazd University, Faculty of Natural Resources and Desert Studies - Department of Environment, amosleh@yazd.ac.ir
4. Professor, Yazd University, Faculty of Natural Resources and Desert Studies - Department of Arid and Desert Management, hsodaie@yazd.ac.ir
5. Assistant Professor, Yazd University, Faculty of Basic Sciences-Department of Biology, m.mirbagheri@yazd.ac.ir

DOI: 10.22052/deej.2026.257979.1126

plant and were air-dried. The dried sludge was subsequently crushed and passed through a No. 20 sieve with openings of 850 µm before use. For plant growth-promoting bacteria, 100 mL of suspension with an approximate cell density of 3×10^8 CFU/mL of each bacterium, as well as a mixture of both, were prepared. Seed inoculation was performed at the beginning of cultivation in the field. For the control group, only the liquid culture medium without bacteria was used instead of the bacterial suspension. Seeds were placed in the suspension of each bacterium for two hours before cultivation. A period of four months elapsed from seed cultivation (beginning in March 2024) to the harvest of plant samples. Subsequently, the mineral elements of the leaves, as well as proline, soluble sugars, total phenols, chlorophyll, and total antioxidants, were measured. Data analysis was performed using SPSS 26 software, and graphs were generated in Excel. The normality of the data distribution was assessed using the Kolmogorov–Smirnov test. Differences between levels were evaluated through analysis of variance (ANOVA). Finally, mean comparisons were performed using Duncan's test at a significance level of 0.05.

Result

The results showed that salinity had a significant effect on reducing the absorption of elements. Specifically, the absorption of phosphorus (20.3%), potassium (32.6%), and calcium (31.7%), as well as chlorophyll content (14.1%), decreased. In contrast, salinity stress led to an increase in antioxidants (160.3%), total phenols (88.2%), and proline (112%). The simultaneous application of biosolids and bacteria increased the amounts of magnesium and calcium in the leaves by 10% and 11%, respectively. Under saline water irrigation conditions, bacterial inoculation increased the absorption of potassium (32.4%), calcium (37.6%), and phosphorus (60.1%), while decreasing sodium absorption by 32.5%. Bacterial inoculation, particularly the combination of both bacteria, increased soluble sugars (39.3%) and proline (137.7%), while decreasing antioxidants (110.2%) and phenols (65.3%).

Discussion and Conclusion

This study demonstrated that salinity represents a major challenge for plants by disrupting ionic homeostasis and inducing oxidative stress. However, inoculation with Bacillus halotolerans and Bacillus amyloliquefaciens—particularly in combination—improves the tolerance of chia (*Salvia hispanica*) to salinity levels of up to 8 dS/m through multiple mechanisms, including the modulation of element uptake, increased osmolyte accumulation, and enhancement of the antioxidant system. In contrast, the use of biosolids alone does not constitute an effective strategy; nevertheless, their potential to interact with microorganisms in providing mineral elements is significant. The findings of the present study emphasize the necessity of integrating microbiological approaches and organic resource management in saline land reclamation programs. Such integration can significantly reduce the damages caused by soil salinization, strengthen plant resistance mechanisms, and, through this, positively affect the physiological performance of chia plants, which will in turn yield favorable economic outcomes.

Keywords: Salty Land Reclamation, Biocontrol, Proline, Chlorophyll.