Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

The effects of plant growth-promoting bacteria, foliar sprays of salicylic acid and silicon on growth parameters of garlic under salt stress

Alireza Tavasolee[1]✉ | Saied Ghasemi[2] | Kazem Ghassemi-Golezani [3] | Salar Farhangi-Abriz [4] | Ahmad Baybordi [5] | Houshang Khosravi [6]

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Department,, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.E-mail: ar.tavasolee@yahoo.ca
2. Department of Plant Eco-physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: saeid.ghassemi67@gmail.com
3. Department of Plant Eco-physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: golezani@gmail.com
4. Department of Plant Eco-physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: Farhanghi@hotmail.com
5. Soil and Water Research Department,, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. E-mail: Ahmad.Bybordi@gmail.com
6. Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: hkhosravi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 7, 2023

Revised: Dec. 9, 2023

Accepted: Dec. 25, 2023

Published online: March. 2024

Keywords:
Azotobacter,
Garlic,
Leaf Area,
Salinity,
Plant Growth.

ABSTRACT

The factorial experiment based on a randomized complete block design was conducted with three replications at the research greenhouse of Tabriz University in 2017. The experimental factors include three levels of salinity stress (non-saline, salinity 3 and 6 dS/m) from the source of sodium chloride, foliar spraying in three levels without hormonal and nutritional foliar spraying, foliar spraying of 2 mM silicon and foliar spraying of 1mM salicylic acid, and the third factor, bacterial inoculation in four levels included: no inoculation, inoculation with Azosprilium, inoculation with Azotobacter and combined inoculation of two bacteria. The results of this research showed that the salt stress reduced the growth and yield of garlic. Spraying of salicylic acid and silicon and inoculation with bacteria improved potassium absorption, plant height, and leaf surface area, number of leaves per plant, yield components, biomass, and yield of garlic. The treatments significantly reduced the sodium concentration in both roots and leaves. The positive effects of the proposed treatments not only improved plant growth and performance under salinity stress conditions but also under non-saline conditions. Among the studied treatments, salicylic acid and silicon foliar applications along with the combined use of Azospirillium and Azotobacter showed more favorable effects on the growth and productivity of garlic than the other treatments. Finally, it was suggested to use growth-promoting bacteria in combination with salicylic acid and silicon solution spraying to mitigate the effects of salinity stress in garlic plants.

Cite this article: Tavasolee, A.R. Ghasemi, S., Ghassemi-Golezani, K., Farhangi-Abriz, S. Baybordi, A. & Khosravi, H. (2024). Investigating the effect of plant growth-promoting bacteria use and foliar spraying of salicylic acid and silicon on the growth characteristics of garlic under salt stress., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (1), 83-96. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366374.669603
© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366374.669603

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۱ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

اثرات باکتری‌های محرک رشد، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر پارامترهای رشدی سیر تحت تنش شوری

علیرضا توسلی[1]✉ | سعید قاسمی[2] | کاظم قاسمی گلعذانی [3] | سالار فرهنگی آبریز[4] | احمد بایبوردی[5] | هوشنگ خسروی[6]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز. رایانامه: ar.tavasolee@yahoo.ca

۲. گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: saeid.ghassemi67@gmail.com

۳. گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: golezani@gmail.com

۴. گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Farhanghi@hotmail.com

۵. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز. رایانامه: Ahmad.Bybordi@gmail.com

۶. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: hkhosravi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۴
تاریخ انتشار: فروردین ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
ازتوباکتر،
سیر،
سطح برگ،
شوری،
رشد گیاه.

چکیده

آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل: سه سطح تنش شوری (غیر شور، شوری ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) از منبع سدیم کلراید، محلول‌پاشی در سه سطح بدون محلول‌پاشی هورمونی و تغذیه‌ای، محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و فاکتور سوم، تلقیح باکتریایی در چهار سطح شامل: بدون تلقیح، تلقیح با آزوسپریلیوم، تلقیح با ازتوباکتر و تلقیح توأم دو باکتری بود. نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری موجب کاهش رشد و عملکرد سیر گردید. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم و تلقیح با باکتری‌ها باعث بهبود جذب پتاسیم، افزایش ارتفاع بوته، سطح و تعداد برگ در بوته، ارتقاء اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و محصول سیر شد. تیمارهای مورد استفاده به طور چشمگیری غلظت سدیم را در ریشه و برگ کاهش دادند. اثرات مثبت استفاده از تیمارهای مورد مطالعه نه تنها تحت شرایط تنش شوری، بلکه در شرایط غیر شور نیز موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شد. در بین تیمارهای مورد مطالعه، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیکون به همراه استفاده ترکیبی از باکتری های آزوسپریلیوم و ازتوباکتر اثرات مطلوب‌تری نسبت به سایر تیمارها بر رشد و بهره‌وری سیر نشان داد. در نهایت استفاده از باکتری‌های محرک رشد به همراه محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیکون برای مقابله با اثرات تنش شوری در گیاه سیر پیشنهاد شد.

استناد: توسلی، علیرضا؛ قاسمی، سعید؛ قاسمی گلعذانی، کاظم؛ فرهنگی آبریز، سالار؛ بایبوردی، احمد و خسروی، هوشنگ (۱۴۰۳). بررسی تأثیر باکتریهای محرک رشد و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر خصوصیات رشدی سیر در شرایط تنش شوری. ، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۱)، ۹۶-۸۳.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366374.669603

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366374.669603

مقدمه

تنش عبارت است از هر عاملی که از عملکرد مطلوب گیاهان جلوگیری نموده و موجب کاهش رشد و نمو آنها شود. گیاهان در طول دوره رشد خود تحت تأثیر انواع مختلف تنش همچون خشکی و شوری قرار می‌گیرند. تنش‌های غیر زیستی عامل کاهش تولید محصول گیاهان در جهان هستند که برای شوری میزان این کاهش در حدود ۲۰ درصد برآورد شده است (Shabala, 2017). محققان روش‌های مختلفی برای مقابله با اثرات منفی تنش شوری روی گیاهان بیان کرده‌اند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد و تنظیم کننده‌های رشد یکی از آنها هستند.

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی اکثراً مواد طبیعی هستند که در بخش‌های مختلف گیاهان ساخته شده و در بافت‌های مختلف اثرات خود را نشان می‌دهند. این مواد موجب مهار یا افزایش فعالیت چرخه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان شده و درنهایت عملکرد گیاه را تغییر می‌دهند. سالیسلیک اسید یک تنظیم کننده مهم گیاهی است که در تنظیم روابط سلولی نقش‌های مهمی دارد که از جمله آنها می‌توان به بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی، تنظیم اسمزی و کمک به نقل و انتقال یون‌ها اشاره نماییم (Farhangi-Abriz et al., 2020). کاربرد این تنظیم کننده رشد گیاهی مقاومت گیاهان را به تنش شوری افزایش می‌دهد. علاوه بر تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، برخی از عناصر مانند سیلیسیم با افزایش سوخت وساز سلولی سبب افزایش رشد گیاهان تحت تنش شوری می‌شوند. سیلیسیم می‌تواند با افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی سبب بهبود رشد گیاهان تحت تنش‌های محیطی مانند شوری شود (Rizwan et al., 2015). کاربرد باکتری‌های محرک رشد مانند آزوسپریلیوم و ازتوباکتر یکی دیگر از راهکارهای مؤثر در افزایش رشد گیاهان تحت تنش شوری است. این باکتری‌ها با افزایش فراهمی عناصر مغذی مانند نیتروژن در ریزوسفر سبب بهبود رشد گیاهان در شرایط شور می‌شوند. علاوه بر این، باکتری‌ها می‌توانند با تولید اکسین در ریشه گیاهان سبب افزایش رشد ریشه شوند (Ha-Tran et al., 2021). با توجه به مطالب فوق در این تحقیق از سالیسیلیک اسید، سیلیسیم و باکتری‌های محرک رشد بومی، برای بررسی رشد و عملکرد گیاه سیر تحت شرایط تنش شوری استفاده شد.

پیشینه پژوهش

شوری خاک و آب از عامل‌های محدودکننده رشد و کاهش تولید محصولات کشاورزی در بیشتر نقاط جهان است (Egamberdieva et al., 2019). شوری به معنی اضافه شدن نمک‌هایی مثل کلرید سدیم، سولفات سدیم و غیره به خاک یا آب است. اثرات ناشی از تنش اولیه شوری سبب هدایت الکتریکی بالا در خاک و یا آب آبیاری شده و بر پایداری غشای سلولی تأثیر و باعث نشت یونی گشته و فعالیت‌های متابولیکی گیاه را مختل می‌سازد (Farhangi-Abriz et al., 2020). علاوه بر اثرات اولیه ناشی از تنش شوری، تنش اسمزی حاصل از شوری موجب اثرات ثانویه تنش در گیاه شده و در نتیجه فشار تورمی سلول‌های گیاه کاهش و با ایجاد تنش کمبود مواد غذایی در گیاه موجب برهم خوردن نسبت عناصر موجود در گیاه می‌گردد (Torabian et al., 2021). تجمع یون‌های سدیم نیز موجب ایجاد سمیت در سلول‌های گیاه و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و در نهایت سبب پراکسیداسیون لیپیدی در بافت‌های گیاهی می‌شود (Farhangi-Abriz & Ghassemi-Golezani, 2018).

از راهکارهای نوین رویارویی با تنش شوری در گیاهان و کاهش اثرات زیان‌بار آن، می‌توان به استفاده از باکتری‌های مقاوم به شوری اشاره کرد (Shultana et al., 2022). برخی از سویه‌های مقاوم به شوری باکتری‌های جداسازی شده از مناطق شور شامل ازتوباکتر و آزوسپریلیوم می‌توانند تأثیر تنش شوری را در ریزوسفر کاهش و حاصلخیزی خاک را بهبود بخشند. باکتری‌های محرک رشد جداسازی شده از مناطق شور، به مقادیر بالای نمک در خاک مقاوم بوده و از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، تنظیم اسمزی، افزایش فتوسنتز و از بین بردن تأثیر سمیت یون سدیم باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شوری شده‌اند (Egamberdieva et al., 2019). کاربرد آزوسپریلیوم و ازتوباکتر در گیاهان رشد یافته تحت تنش شوری سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش شده و درنهایت رشد را افزایش می‌دهد (Abdel Latef et al., 2020). افزایش رشد اندام هوایی در پاسخ به تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در گندم (El-Akhdar et al., 2019)، جو (Khodadadi et al., 2020) و ذرت (Abdel Latef et al., 2020) نیز در شرایط تنش شوری گزارش‌شده است.

گزارش‌های متعددی مبنی بر نقش سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرات ناشی از تنش‌ها وجود دارد (Farhangi-Abriz et al., 2019; Rasheed et al., 2020). خصوصیات بیوشیمیایی سالیسیلیک اسید نشان می‌دهد که این ترکیب می‌تواند به درون گیاه انتقال‌یافته و در واکنش‌های فیزیولوژیکی شرکت نماید. سالیسیلیک اسید نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل جوانه‌زنی، رشد، فتوسنتز، جذب یون و تکامل گیاه ایفا می‌کند (Kulak et al., 2021). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید توانسته است با افزایش تولید

تنظیم‌کننده‌های اسمزی، ساخت کلروفیل در برگ‌ها و رشد ریشه موجب افزایش تحمل به تنش شوری و رشد گیاهان شود (Farhangi-Abriz et al., 2020; Bagautdinova et al., 2022). سیلیسیم (یا همان سیلیکون) با عدد اتمی ۱۴، پس از اکسیژن فراوان‌ترین عنصر در پوسته زمین است. تحقیقات انجام‌شده در مورد اثر متقابل سیلیسیم و شوری بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاهان نشان می‌دهد که در اکثر موارد، استفاده از این عنصر در شرایط شور توانسته تا حد زیادی اثرات نامطلوب شوری را در گیاهان تعدیل نماید (Farhangi-Abriz & Torabian, 2018; Pena Calzada et al., 2023). Abdelaal et al., (2020) ، گزارش نموده‌اند که کاربرد سیلیسیم تحت تنش شوری می تواند با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب بهبود رشد گیاهان شود.

سیر گیاهی مقاوم به سرما بوده و می‌تواند دوره‌های طولانی سرمای زیر صفر را تحمل کند، به همین دلیل در مناطق معتدله کشت پاییزه این محصول متداول بوده و حتی گزارش‌هایی مبنی بر بیشتر بودن عملکرد کشت پاییزه سیر نسبت به کشت بهاره در این مناطق ارائه‌شده است. خاک‌های حاصل‌خیز به‌خصوص شنی، برای کشت سیر مناسب می‌باشد (Addis & Abebaw, 2015). فراهم ساختن حاصلخیزی مناسب خاک باعث افزایش رشد و اندازه حبه‌های سیر می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات باکتری‌های محرک رشد، سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر برخی تغییرات رشدی و عملکردی سیر در سطوح مختلف شوری انجام شده است.

مواد و روش‌ها

شرایط اجرای آزمایش

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تبریز اجرا گردید. عامل اول شامل سه سطح تنش سدیم کلراید (غیر شور، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر)، عامل دوم محلول‌پاشی در سه سطح (بدون محلول‌پاشی هورمونی و تغذیه‌ای، محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سیلیسیم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) و عامل سوم تلقیح باکتریایی در چهار سطح (بدون تلقیح، تلقیح با آزوسپریلیوم، تلقیح با ازتوباکتر و تلقیح با آزوسپریلیوم + ازتوباکتر) بود. بستر کشت پرلیت بود. برای تعیین ظرفیت زراعی پرلیت از روش منحنی رطوبتی خاک استفاده شد، به این ترتیب که از رابطه بین پتانسیل ماتریک و رطوبت حجمی بستر رشد یک منحنی به شکل S به دست آمد. در این روش از دستگاه محفظه فشار استفاده گردید (Jones, 2021).

پس از استریل کردن محیط کشت، هر گلدان با یک کیلوگرم پرلیت دانه متوسط پر گردید. در این آزمایش، ۱۱۲ گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر، که ۱۰۸ گلدان مربوط به تیمارهای مورد مطالعه و ۴ گلدان نیز به‌عنوان شاهد برای تعیین زمان آبیاری و نگهداری پتانسیل آب بستر کشت در محدوده ظرفیت مزرعه‌ای سطوح مختلف شوری مورد استفاده قرار گرفت. سیرچه‌ها پس از تلقیح با باکتری‌های موردنظر (آزوسپریلیوم و ازتوباکتر با جمعیت 10^8 cfu mL^{-1}) در عمق ۴ سانتی‌متری از سطح بستر کشت شدند و سپس گلدانهای شاهد با آب غیر شور (۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر) و سایر گلدآنها با محلول‌های کلرید سدیم موردنظر تا رسیدن به ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری گردیدند. تأمین نیاز غذایی گیاهچه‌های سیر با استفاده از محلول غذایی هوگلند با هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر با pH= ۶–۷ بود. در دو مرحله رشدی گیاه شامل۲۰ و ۴۰ روز پس از کاشت، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر روی گیاهان اعمال گردید (سطوح شوری و محلول‌پاشی‌های انجام گرفته بر اساس یک پیش آزمون تعیین شدند).

تعیین غلظت عناصر سدیم و پتاسیم

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر موجود در ریشه و برگ، این ۲ جزء گیاه به‌طور جداگانه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس ۰/۵ گرم از هر قسمت گیاهی برداشته و در کوره الکتریکی در دمای۵۶۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر گردید. روی هر نمونه گیاهی۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک یک نرمال اضافه و سپس غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در این محلول‌ها توسط دستگاه فلیم فتومتر (Corning flame photometer, 410) اندازه‌گیری شد (Farhangi-Abriz. & Torabian, 2018).

ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی

در مرحله رسیدگی (حدود۱۲۰ روز پس از کاشت)، ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته گیاهان اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری شد. تعیین سطح برگ نیز توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (model ADCAM 300-United Kingdom) انجام گرفت (Torabian et al., 2018).

عملکرد بیولوژیکی

نمونه‌های برداشت‌شده از آخرین مرحله برداشت در پاکت‌های جداگانه قرار گرفتند و به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه

سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. به‌این‌ترتیب عملکرد بیولوژیکی از درصد گیری بین وزن خشک سیرها (عملکرد اقتصادی) بر وزن خشک کل بوته برای هر واحد آزمایشی تعیین گردید (Torabian et al., 2021).

عملکرد و اجزای عملکرد

در آخرین مرحله، گیاهان برداشت شدند و پس از قرار دادن بوته‌های هر گلدان در پاکت‌های جداگانه به آزمایشگاه منتقل گردیدند و وزن تر و خشک سیر (با استفاده از ترازویی با دقت یک‌صدم – TD Electronics 30002D, China)، قطر محصول سیر (توسط کولیس – Mitutoyo, Japan) و تعداد سیرچه در سیر اندازه‌گیری شدند.

محاسبات آماری

پس از انجام آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف و یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس صفات به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-Cانجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

غلظت سدیم و پتاسیم در ریشه و برگ

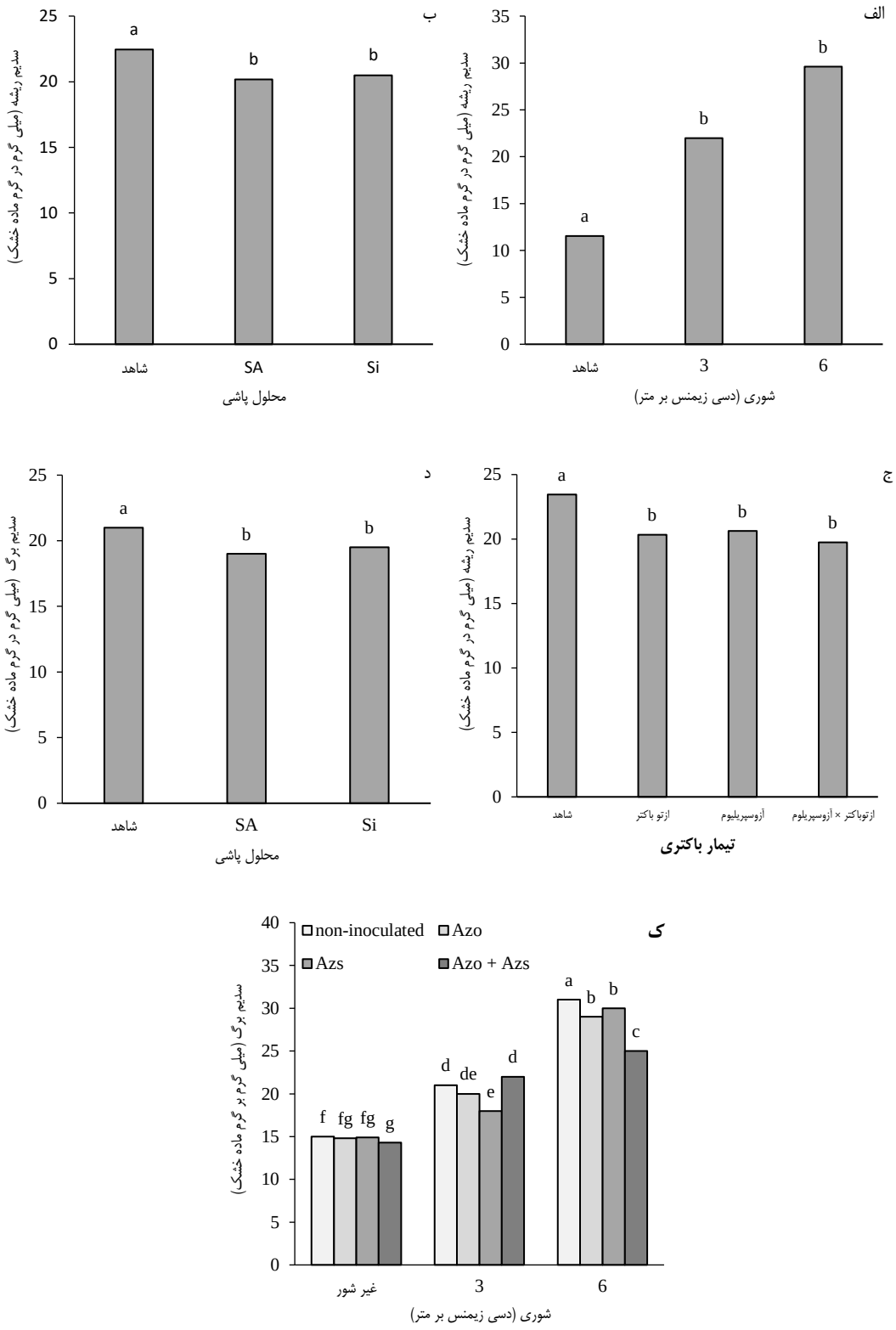
در این تحقیق، اثرات شوری، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر مقدار سدیم و پتاسیم ریشه و برگ معنی‌دار بودند. همچنین مقدار سدیم در برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل شوری و باکتری‌های محرک رشد قرار گرفت (جدول ۱ در فایل تکمیلی).

با افزایش سطوح شوری میزان تجمع یون سدیم در ریشه افزایش (تا ۱۵۶ درصد نسبت به شاهد) (شکل ۱ الف) و تجمع پتاسیم در ریشه (تا ۶۲ درصد) و برگ (تا ۱۸ درصد) کاهش یافت (شکل ۲ الف و ب). تلقیح با باکتری‌های محرک رشد سبب کاهش غلظت سدیم ریشه (شکل ۱ ج) و افزایش غلظت پتاسیم ریشه و برگ (شکل ۲ ن و ک) گیاهان شد. بیشترین مقدار پتاسیم ریشه و برگ از اثرات متقابل ازتوباکترو آزوسپریلیوم حاصل شد. همچنین محلول‌پاشی گیاهان با سالیسیلیک اسید و سیلیسیم به‌طور معنی‌داری غلظت سدیم ریشه را کاهش (شکل ۱ ب) و غلظت پتاسیم ریشه و برگ را افزایش داد (شکل ۲ ج و د). کمترین مقدار سدیم ریشه (با حدود ۱۰ درصد کاهش در مقایسه با گیاهان شاهد) از گیاهان تحت تیمار سالیسیلیک اسید به دست آمد. هرچند بین گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید و سیلیسیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، بیشترین مقدار غلظت پتاسیم در ریشه و برگ گیاهان مربوط به گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید بود. غلظت سدیم برگ‌های سیر با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (حدود ۱۰ درصد) و سیلیسیم (حدود ۷ درصد) کاهش یافت (شکل ۱ د). تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم برگ در گیاهان تیمار شده با باکتری و شاهد گردید. استفاده از باکتری آزوسپریلیوم در تنش ملایم و استفاده ترکیبی از باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم تحت تنش شدید شوری سبب کاهش معنی‌دار غلظت سدیم برگ شد (حدود ۱۶ درصد) (شکل ۱ ک).

تجمع یون سدیم در سلول منجر به بازدارندگی فعالیت برخی آنزیم‌ها شده و در نهایت در متابولیسم سلولی تاثیر می‌گذارد (Datir et al., 2020). یون سدیم نه‌تنها جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه را کاهش می‌دهد، بلکه با تجمع آن اختلالات آنزیمی را نیز در پی دارد. Kumari et al. (2021)، عنوان نمودند که کاهش غلظت پتاسیم گیاه در اثر ایجاد شوری ناشی از رابطه آنتاگونیستی بین جذب سدیم و پتاسیم توسط گیاه می‌باشد. این پدیده می‌تواند حاصل رقابت بین سدیم و پتاسیم برای جذب به‌وسیله مکانهای جذبی غشای پلاسمایی باشد. همچنین وجود سدیم ممکن است منجر به مختل شدن نفوذپذیری غشا و درنتیجه خروج پتاسیم از سلول‌های ریشه شود. پتاسیم در فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاه، سنتز پروتئین و نشاسته، انتقال قندها، فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها ازجمله آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز و تنفس، حفظ یکپارچگی سیستم فتوسنتزی و باز و بسته شدن روزنه نقش مهمی ایفا می‌کند. جایگزین شدن پتاسیم توسط سدیم می‌تواند موجب آسیب به گیاه شود، زیرا سدیم قادر به ایفای نقش‌های پتاسیم نیست (Fageria, 2016).

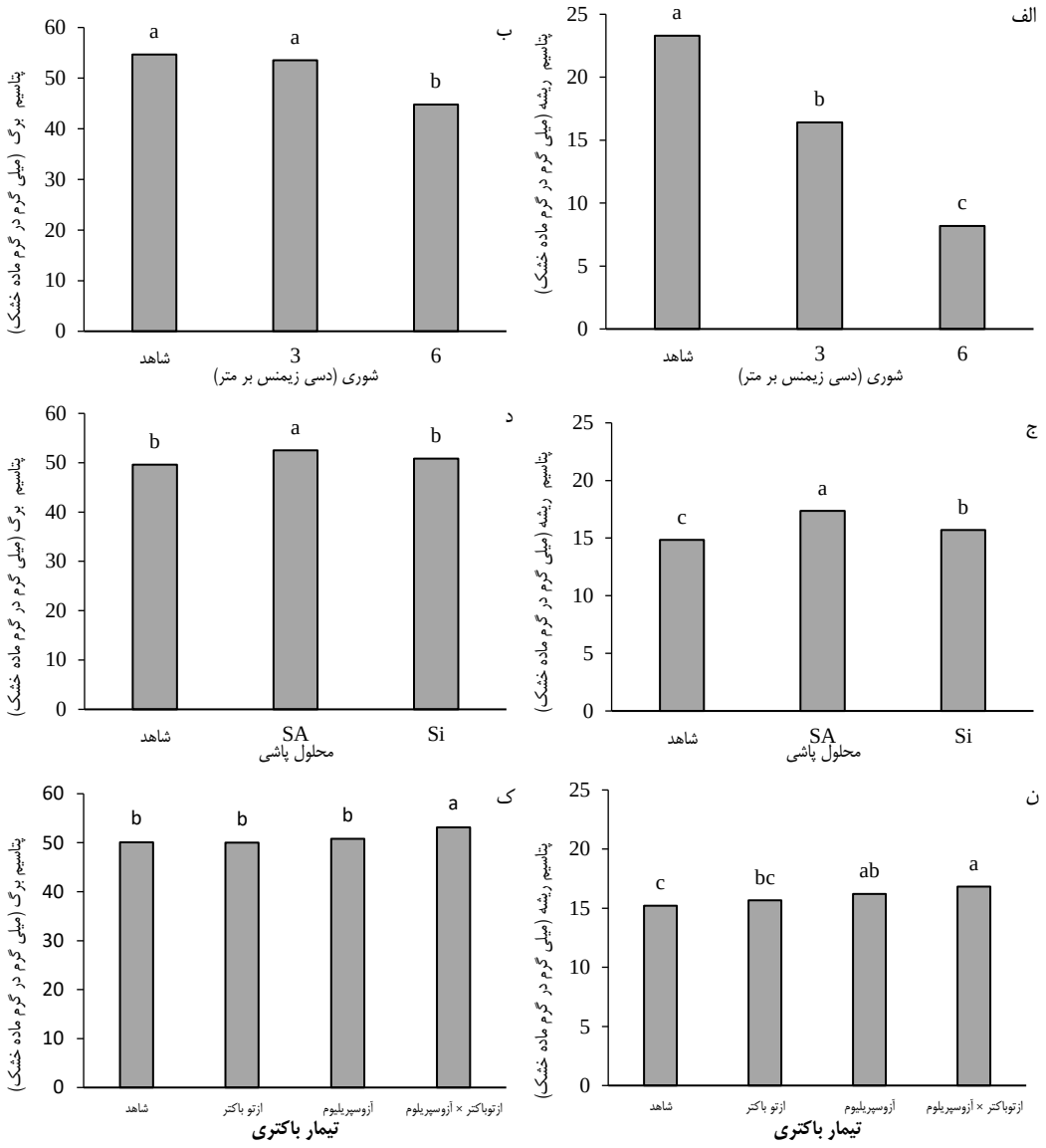
تأثیر باکتری‌ها به نوع باکتری، شرایط تغذیه‌ای خاک و نوع گونه گیاهی بستگی دارد. سویه‌های باکتریایی توانایی متفاوتی در تولید تنظیم‌کننده‌های رشد، آنزیم ACC دآمیناز و حلالیت عناصر معدنی خاک دارند، بنابراین تأثیر آنها در گیاه نیز متفاوت است. انواع باکتری های محرک رشد، ترکیبات اگزوپلی ساکاریدی ترشح می‌کنند که با یون‌های سدیم پیوند برقرار کرده و مانع جذب این یون سمی در

ریزوسفر شده و از طرفی جذب پتاسیم را در گیاه افزایش می‌دهند (Shabaan et al., 2022).



شکل ۱. اثرات شوری (الف)، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم (ب و د)، تیمارهای باکتریایی (ج) و اثر متقابل شوری با تیمارهای باکتریایی (ک) بر محتوای سدیم در ریشه و برگ سیر.

حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون دانکن).



شکل ۲. اثرات شوری (الف و ب)، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم (ج و د) و تیمارهای باکتریایی (ن و ک) بر محتوای پتاسیم در ریشه و برگ سیر

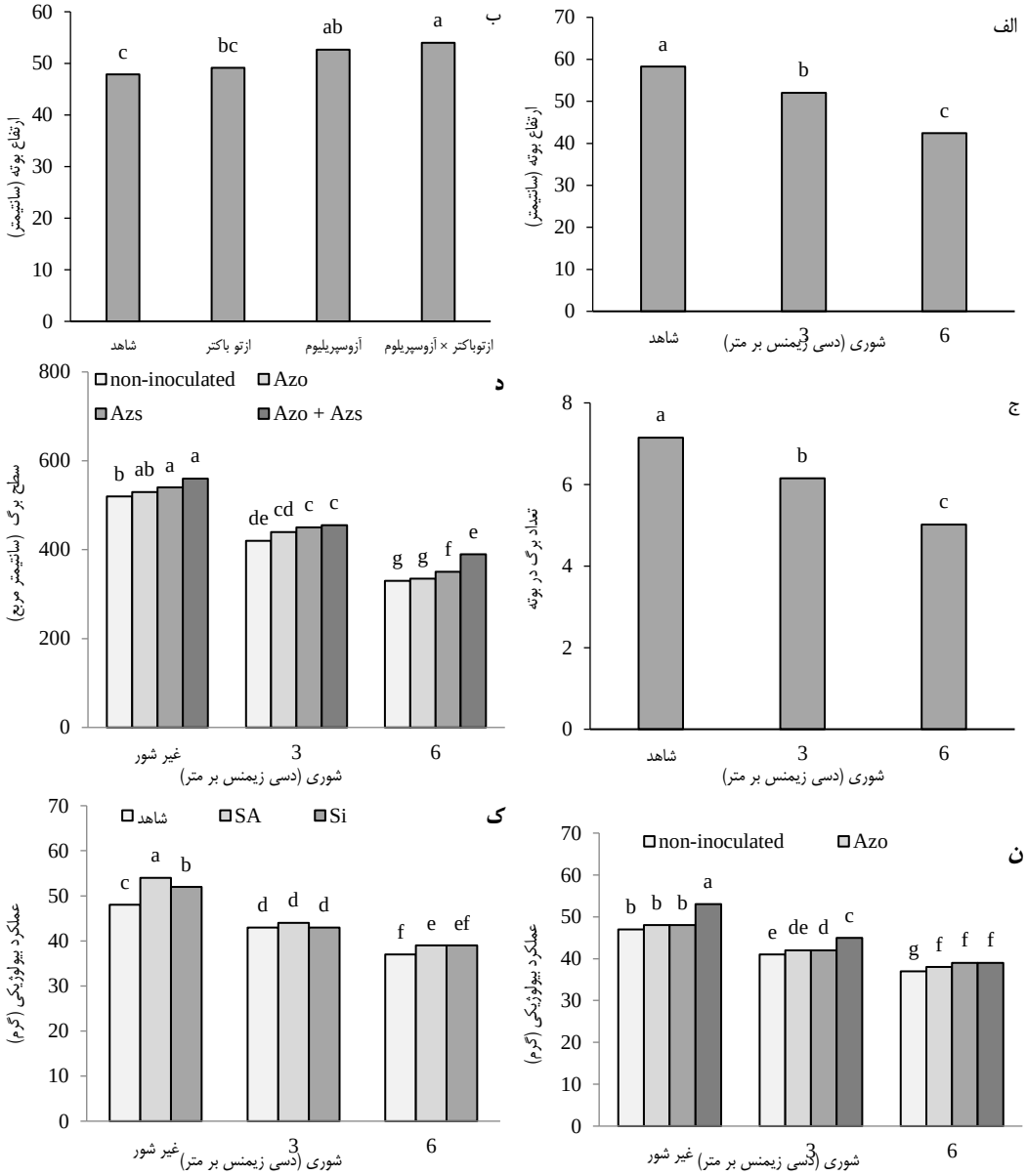
حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون دانکن).

تیمار گیاهان با سیلیسیم و به‌ویژه سالیسیلیک اسید تحت تیمارهای مختلف شوری به‌طور معنی‌داری تجمع سدیم را در ریشه و برگ کاهش و تجمع پتاسیم در ریشه و برگ را افزایش داد. دلیل این تغییرات ممکن است با ممانعت یا کاهش بازدارندگی فعالیت برخی آنزیم‌ها تحت تنش شوری در ارتباط باشد. گیاهان برای کاهش اثرات یونی تنش شوری معمولاً تجمع یون سدیم را با کاهش جذب آن یا تقسیم آن در فضاهای مختلف سلولی و بین سلولی کاهش می‌دهند. کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه سویا تحت تنش شوری موجب کاهش غلظت سدیم و افزایش میزان پتاسیم، کلسیم و آهن در گیاهان شده است (Ghassemi-Golezani & Farhangi-Abriz, 2018).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر سطوح مختلف شوری و تلقیح با باکتری های محرک رشد قرار گرفت (جدول ۱ در فایل تکمیلی). با افزایش تنش شوری به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بوته گیاهان سیر کاسته شد (تا حدود ۲۷ درصد)، به‌طوری‌که بیشترین کاهش ارتفاع مربوط به تنش شوری شدید بود (شکل ۳ الف). استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش ارتفاع بوته گیاهان شد (تا حدود ۱۳ درصد) و بیشترین مقدار ارتفاع در استفاده ترکیبی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم حاصل گردید (شکل ۳ ب).

برای کاهش ارتفاع بوته تحت تنش شدید شوری می‌توان دلایل متعددی را ذکر نمود، شوری فتوسنتز گیاه را به دلیل افت محتوای کلروفیل (ALKahtani et al., 2020) کاهش می‌دهد که در حقیقت کربوهیدرات مورد نیاز برای رشد را محدود می‌کند. شوری رشد ساقه را به علت کاهش فشار تورمی در بافت‌های درحال‌توسعه درنتیجه افت پتانسیل آب در محیط رشد ریشه کاهش می‌دهد (Arif et al., 2020). اثر سمّی غلظت بالای یون‌ها در بافت‌های مختلف گیاه باعث کاهش ارتفاع بوته در شرایط شوری می‌شود (Safdar et al., 2019). اثر افزایشی باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته را می‌توان به تولید اکسین و جیبرلین و تأمین بهینه عناصر غذایی تعمیم داد (Farhangi-Abriz et al., 2020). گزارش‌های متعددی به تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته گیاهان مختلف اشاره‌کرده‌اند. Mokabel (2022)، طی تحقیقی اعلام داشتند که تیمار کود زیستی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش ارتفاع بوته گندم تحت تنش شوری شد. Ghaly et al. (2022) ، با بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر گیاه سویا گزارش نمودند که صفات رویشی و جذب عناصر مغذی در این گیاه افزایش یافت.



شکل ۳. تغییرات ارتفاع بوته در پاسخ به تنش شوری و تیمارهای باکتریایی (الف و ب)، تعداد برگ در بوته در پاسخ به تنش شوری (ج)، اثر متقابل شوری با باکتری‌های محرک رشد برای سطح برگ (د) و اثرات متقابل شوری با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم و شوری با تیمارهای باکتریایی بر عملکرد بیولوژیکی سیر (ن و ک).

حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون دانکن).

تعداد برگ در بوته

تعداد برگ در بوته گیاه سیر فقط تحت تأثیر شوری قرار گرفت (جدول ۱ در فایل تکمیلی). با افزایش تنش شوری از تعداد برگ در بوته کاسته شد (تا ۳۰ درصد) (شکل ۳ ج). با توجه به نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌گردد که کاهش تعداد برگ تحت تنش می‌تواند به علت کاهش ارتفاع بوته (شکل ۳ الف) در شرایط تنش باشد. رشد گیاه به شرایط محیطی از جمله فراهم بودن آب کافی محیطی که گیاه در آن رشد می‌کند، وابسته است. در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز گیاه، فشار تورژسانس سلول‌ها کاهش و با اثر بر طول سلول‌ها و تقسیم سلولی، سبب کاهش تعداد برگ در بوته می‌شود (Al-Yasi et al., 2020). طبیعتاً در شرایط تنش، گیاه با کاهش تعداد و کوچک کردن برگ، سطح فتوسنتز کننده خود را کاهش می‌دهد و به دنبال کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد و این رویداد باعث تلفات بیشتر برگ و کاهش سطح فتوسنتز کننده می‌گردد (Miao et al., 2020).

سطح برگ

سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری، باکتری‌های محرک رشد و اثر متقابل شوری با باکتری‌های محرک رشد قرار گرفت (جدول ۲ در فایل تکمیلی). سطح برگ گیاهان سیر تحت شرایط شور و غیر شور با کاربرد باکتری‌های محرک رشد بهبود یافت، به‌طوریکه کاربرد هم‌زمان ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بیشترین سطح برگ را ایجاد نمود (تا ۱۸ درصد افزایش تحت تنش شدید شوری) (شکل ۳ د). کاهش رشد و نمو گیاهان در خاک‌های شور مربوط به بالا بودن فشار اسمزی ناشی از وجود یون‌های سدیم و کلر است که درنهایت منجر به کاهش قابلیت استفاده از آب موجود برای گیاه می‌شود (Zhao et al., 2021). در شرایط شور با افزایش غلظت نمک‌ها در محلول غذایی، پتانسیل اسمزی محلول کاهش‌یافته و به دنبال آن فشار آماس سلول نیز کاهش می‌یابد و این مانع رشد برگ گیاهان می‌شود. از طرفی به دلیل کوچک بودن برگ‌ها و ریزش احتمالی آنها، مواد پرورده و انرژی کافی برای تولید مجدد برگ‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند (Adhikari et al., 2019). فعالیت باکتریایی باعث جذب بهتر مواد غذایی و توسعه سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب آب و درنهایت رشد اندام هوایی می گردد (Kerbab et al., 2021).

عملکرد بیولوژیکی

عملکرد بیولوژیکی سیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم قرار گرفت. همچنین اثر متقابل شوری و باکتری‌های محرک رشد و اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم بر روی این صفت معنی‌دار گردیدند (جدول ۲ در فایل تکمیلی). اثر متقابل شوری و باکتری‌های محرک رشد نشان داد که عملکرد بیولوژیکی گیاه سیر تحت شرایط شور (تا حدود ۹ درصد) و غیر شور (تا حدود ۱۲ درصد) با کاربرد باکتری‌های محرک افزایش پیدا کرد (شکل ۳ ن). استفاده ترکیبی از باکتری‌ها در شرایط شور و غیر شور عملکرد بیولوژیکی بیشتری را به خود اختصاص دادند. تنش شوری عملکرد بیولوژیکی تمامی گیاهان (شاهد و تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد) را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم نیز نشان داد که عملکرد بیولوژیکی با کاربرد سیلیسیم و به‌ویژه سالیسیلیک اسید در شرایط شوری شدید (تا حدود ۵ درصد) و شاهد (تا حدود ۱۴ درصد) افزایش یافت. در شرایط شوری ملایم اختلاف بین تیمار محلول‌پاشی و شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۳ ک).

کاهش عملکرد بیولوژیکی بر اثر تنش شوری را می‌توان به افت فرایندهای فیزیولوژیکی و درنتیجه کاهش فتوسنتز و رشد گیاه نسبت داد. Kaiwen et al., (2020) دریافتند که تنش شوری جذب عناصر غذایی ضروری در یونجه را محدود کرده و با کاهش تجمع ماده خشک در گیاه، عملکرد بیولوژیکی را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد بیولوژیکی ناشی از تنش را می‌توان به کوتاه شدن مراحل رویشی و درنتیجه کاهش رشد رویشی گیاهان نسبت داد (dos Santos et al., 2022). کاهش رشد گیاهان سیر تحت سطوح مختلف تنش شوری ممکن است از راه‌های مختلفی مانند بیشتر شدن انرژی سوخت‌وساز گیاه و کمتر شدن میزان جذب کربن، کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، اختلال در سوخت‌وساز کربوهیدرات و پروتئین و کاهش جذب آب به‌وسیله سلول‌ها حاصل شود (Safdar et al., 2019).

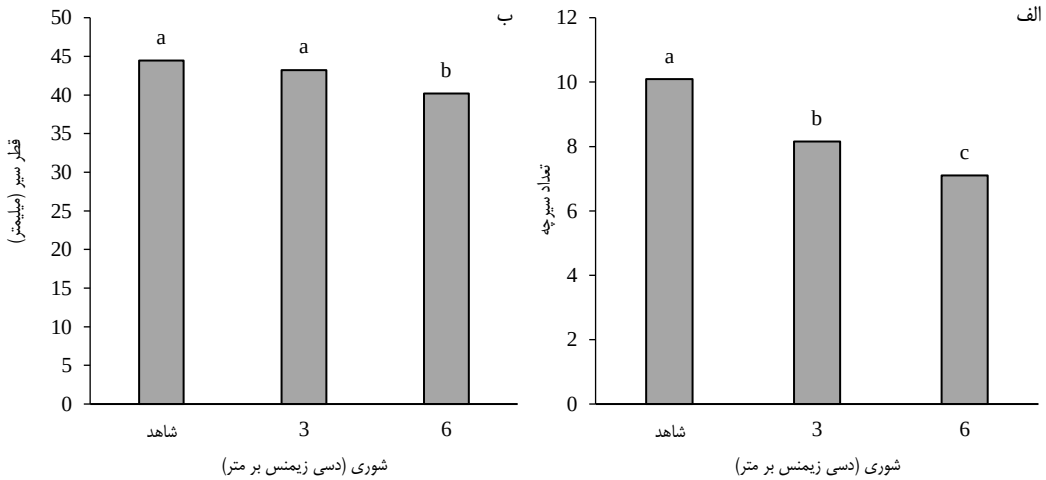
تلقیح گونه‌های مختلف گیاهی با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش رشد ریشه و یا افزایش تشکیل ریشه‌های فرعی از طریق ترشح هورمون اکسین توسط این باکتری‌ها شده و به دنبال آن سطح مؤثر ریشه افزایش‌یافته و نهایتاً جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه تحت تنش افزایش می‌یابد (Ha-Tran et al., 2021). همچنین این باکتری‌ها از طریق افزایش سطح برگ (شکل ۳ د) و ارتفاع بوته (شکل ۳ ب) سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی گیاه سیر شدند.

افزایش عملکرد بیولوژیکی درنتیجه تیمار محلول‌پاشی سیلیسیم و به‌ویژه سالیسیلیک اسید را می‌توان به بهبود صفات فیزیولوژیکی

مختلف نسبت داد. Tabur et al., (2021)، گزارش کردند که تیمار سالیسیلیک اسید منجر به افزایش وزن خشک گیاهچه‌های جو می‌شود. Khan et al. (2019)، عنوان نمودند که کود دهی سیلیسیم چه در شرایط شور و چه غیر شور منجر به افزایش رشد ریشه و بخش هوایی می‌شود. تحت تنش شوری تیمار سیلیسیم در گیاه باعث افزایش فعالیت سیستم خنثی‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن و سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی در بافت‌های مختلف گیاه (Farhangi-Abriz et al., 2020) می‌شود و درنتیجه تحمل گیاه به شوری و رشد آن افزایش می‌یابد.

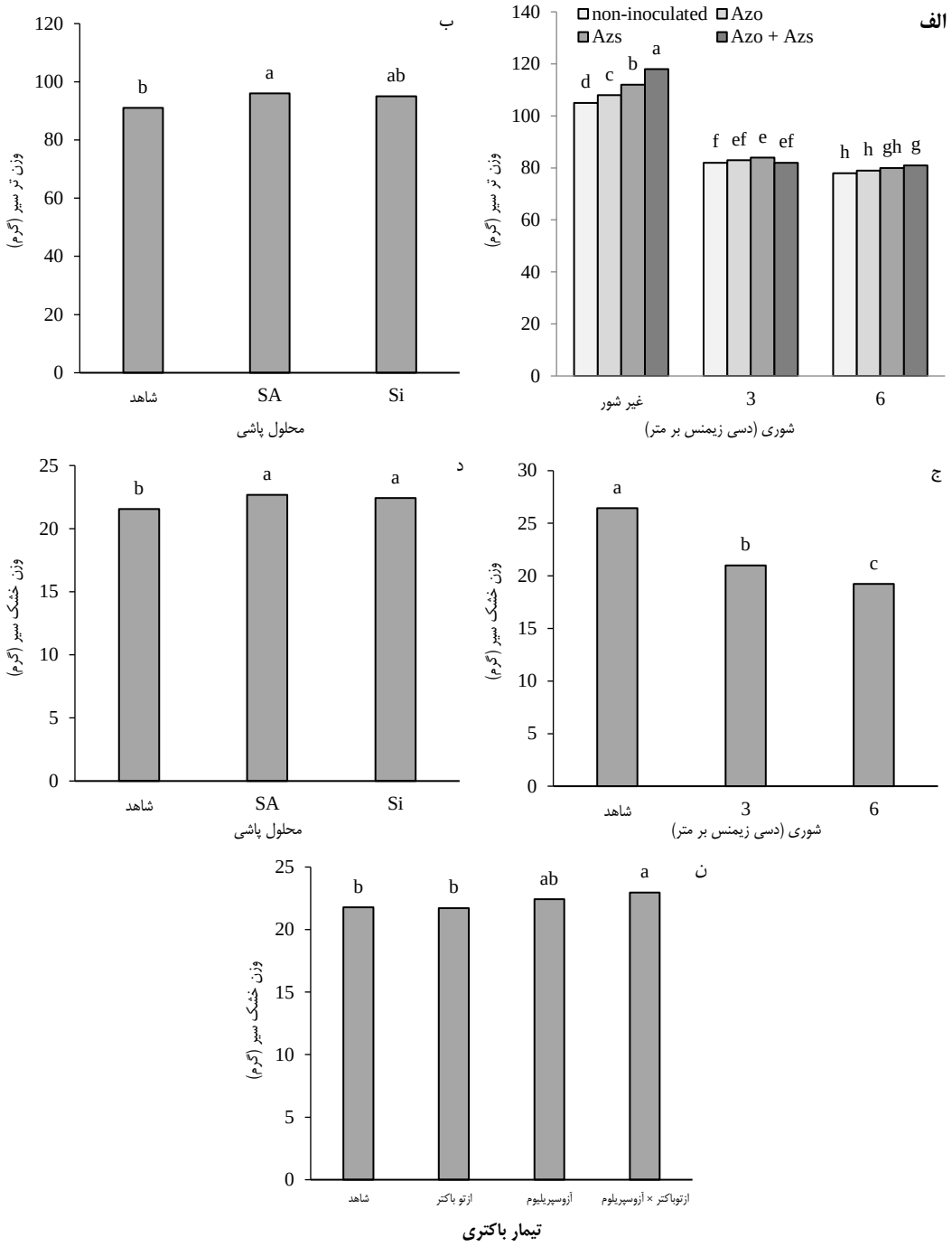
عملکرد و اجزای عملکرد سیر

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲ در فایل تکمیلی)، قطر سیر و تعداد سیرچه در سیر فقط تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفتند. با افزایش شدت تنش شوری قطر سیر (تا حدود ۹ درصد) و تعداد سیرچه در سیر (تا ۳۰ درصد) کاهش یافت (شکل ۴ الف و ب). هرچند اختلاف بین شوری ملایم و شدید برای قطر سیر معنی‌دار نبود. اثر شوری، باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی بر روی وزن‌تر و خشک سیر معنی‌دار گردید (در سطح احتمال یک درصد)، اما اثر متقابل شوری و باکتری‌های محرک رشد فقط برای وزن‌تر سیر معنی دار شد (جدول ۲ در فایل تکمیلی). تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن‌تر سیر در تمامی گیاهان تیمار شده با باکتری و شاهد گردید. استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش وزن‌تر سیر شد (تا ۸ درصد در شرایط غیر شور)، به‌طوری‌که در تیمار شاهد و شوری شدید استفاده ترکیبی باکتری‌ها (ازتوباکتر + آزوسپریلیوم) و در تنش شوری ملایم باکتری آزوسپریلیوم نتیجه بهتری را نشان دادند (شکل ۵ الف). با افزایش شدت تنش شوری، وزن خشک سیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (تا حدود ۲۷ درصد) (شکل ۵ ج). استفاده از باکتری‌های محرک رشد به‌ویژه استفاده ترکیبی این باکتری‌ها به‌طور معنی‌داری وزن خشک سیر را بهبود بخشیدند (شکل ۵ ن). محلول‌پاشی سیلیسیم و به‌ویژه سالیسیلیک اسید وزن‌تر و خشک سیر را افزایش داد (تا حدود ۱۰ درصد) (شکل ۵ ب و د). آنجایی که تنش شوری سبب ایجاد تنش کم‌آبی در گیاه می‌شود، اعمال تنش شوری سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سیر شد. کاهش عملکرد (وزن‌تر و خشک سیر) تحت تنش شوری ممکن است با کاهش رشد براثر کاهش جذب آب و عناصر غذایی و یا عملکرد فیزیولوژیکی بخش‌های مختلف گیاهی در ارتباط باشد. استفاده از باکتری‌های محرک رشد با اثر مطلوب بر بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه موجب بهبود محصول می‌شود (Neshat et al., 2022). تیمار سالیسیلیک اسید نیز ممکن است بر چندین عامل متابولیکی گیاه مانند جذب و تثبیت دی‌اکسید کربن ازجمله غلظت و فعالیت آنزیم روبیسکو یا چرخه کلوین اثر داشته باشد (Talaat et al., 2021).



شکل ٤. اثرات تنش شوری بر تعداد سیرچه (الف) و قطر حبه‌های سیر (ب).

حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون دانکن).



شکل ۵. اثر متقابل شوری با باکتری‌های محرک رشد (الف) و اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید و سیلیسیم (ب) بر بر وزن تر سیر و اثرات شوری (ج)، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم (د) و تیمارهای باکتریایی (ن) بر وزن خشک سیر.

حروف متفاوت در هر ستون برای هر عامل نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است (آزمون دانکن).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تنش شوری موجب کاهش رشد و عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی در سیر گردید. کاربرد باکتری‌های محرک رشد آزوسپریلیوم و ازتوباکتر به همراه محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم موجب بهبود رشد سیر در شرایط شور و غیر شور شدند. کاربرد ترکیبی و تکی از باکتری‌های محرک رشد به همراه محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سیلیسیم یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش تولید سیر در شرایط شور است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abdel Latef, A.A.H., Abu Alhmad, M.F., Kordrostami, M., Abo–Baker, A.B.A.E., & Zakir, A. (2020). Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or Azotobacter chroococcum reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*, 1293-1306.

Abdelaal, K.A., Mazrou, Y.S., & Hafez, Y.M. (2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, *9*, 733.

Addis, W., & Abebaw, A. (2015). Analysis of selected physicochemical parameters of soils used for cultivation of garlic (*Allium sativum* L.). *Science, Technology and Arts Research Journal*, *3*(4), pp.29-35.

Adhikari, N.D., Simko, I., & Mou, B. (2019). Phenomic and physiological analysis of salinity effects on lettuce. *Sensors*, 19, 4814.

ALKahtani, M.D., Attia, K.A., Hafez, Y.M., Khan, N., Eid, A.M., Ali, M.A., & Abdelaal, K.A. (2020). Chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomy*, 10(8), 1180.

Al-Yasi, H., Attia, H., Alamer, K., Hassan, F., Ali, E., Elshazly, S., Siddique, K.H., & Hessini, K. (2020). Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. *Plant Physiology and Biochemistry*, 150, 133-139.

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64-77.

Bagautdinova, Z.Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A.V., Kovrizhnykh, V.V., Lavrekha, V.V., & Zemlyanskaya, E.V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2228.

Datir, S., Singh, N., & Joshi, I. (2020). Effect of NaCl-induced salinity stress on growth, osmolytes and enzyme activities in wheat genotypes. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 104, 351-357.

dos Santos, T.B., Ribas, A.F., de Souza, S.G.H., Budzinski, I.G.F., & Domingues, D.S. (2022). Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, *2*(1), 113-135.

Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J., & Arora, N.K. (2019). Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in microbiology*, *10*, 2791.

El-Akhdar, I., El-Sheekh, M., Allam, N.G., Kamal, F., Abou-Shanab, R., & Staehelin, C. (2019) Evaluation of salt-tolerant *Azospirillum lipoferum* and its role in improvement of Wheat growth parameters. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, *3*, 163-178.

Fageria, N.K. (2016). The use of nutrients in crop plants. CRC press.

Farhangi-Abriz, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2018). How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants?. *Ecotoxicology and environmental safety*, *147*, 1010-1016.

Farhangi-Abriz, S., & Torabian, S. (2018). Nano-silicon alters antioxidant activities of soybean seedlings under salt toxicity. *Protoplasma*, *255*, 953-962.

Farhangi-Abriz, S., Alaee, T., & Tavasolee, A. (2019). Salicylic acid but not jasmonic acid improved canola root response to salinity stress. *Rhizosphere*, 9, 69-71.

Farhangi-Abriz, S., Tavasolee, A., Ghassemi-Golezani, K., Torabian, S., Monirifar, H., & Rahmani, H.A. (2020). Growth-promoting bacteria and natural regulators mitigate salt toxicity and improve rapeseed plant performance. *Protoplasma*, *257*, 1035-1047.

Ghaly, F.A., Abd-Elhamied, A.S., & Shalaby, N.S. (2020). Effect of bio-fertilizer, organic and mineral fertilizaters on soybean yield and nutrients uptake under sandy soil conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, *11*, 653-660.

Ghassemi-Golezani, K., & Farhangi-Abriz, S. (2018). Foliar sprays of salicylic acid and jasmonic acid stimulate H+-ATPase activity of tonoplast, nutrient uptake and salt tolerance of soybean. *Ecotoxicology and environmental safety*, *166*, 18-25.

Ha-Tran, D.M., Nguyen, T.T.M., Hung, S.H., Huang, E., & Huang, C.C. (2021). Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*, 3154.

Jones Jr, J.B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC.

Kaiwen, G., Zisong, X., Yuze, H., Qi, S., Yue, W., Yanhui, C., Jiechen, W., Wei, L., & Huihui, Z. (2020).

Effects of salt concentration, pH, and their interaction on plant growth, nutrient uptake, and photochemistry of alfalfa (*Medicago sativa*) leaves. *Plant signaling & behavior*, *15*(12), p.1832373.

Kerbab, S., Silini, A., Chenari Bouket, A., Cherif-Silini, H., Eshelli, M., El Houda Rabhi, N., & Belbahri, L. (2021). Mitigation of NaCl stress in wheat by rhizosphere engineering using salt habitat adapted PGPR halotolerant bacteria. *Applied Sciences*, *11*(3), p.1034.

Khan, A., Khan, A.L., Muneer, S., Kim, Y.H., Al-Rawahi, A., & Al-Harrasi, A. (2019). Silicon and salinity: Crosstalk in crop-mediated stress tolerance mechanisms. *Frontiers in plant science*, *10*, 1429.

Khodadadi, R., Ghorbani Nasrabadi, R., Olamaee, M., & Movahedi Naini, S.A. (2020). Effect of Azotobacter and Azospirillum on Growth and Physiological Characteristics of Barley (*Hordeum vulgare*) under Salinity Stress. *Water and Soil*, *34*, 649-660.

Kulak, M., Jorrín-Novo, J.V., Romero-Rodriguez, M.C., Yildirim, E.D., Gul, F., & Karaman, S. (2021). Seed priming with salicylic acid on plant growth and essential oil composition in basil (*Ocimum basilicum* L.) plants grown under water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, *161*, 113235.

Kumari, S., Chhillar, H., Chopra, P., Khanna, R.R., & Khan, M.I.R. (2021). Potassium: A track to develop salinity tolerant plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *167*, 1011-1023.

Miao, Y., Luo, X., Gao, X., Wang, W., Li, B., & Hou, L. (2020). Exogenous salicylic acid alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis and root system architecture in cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109577.

Mokabel, S., Olama, Z., Ali, S., & El-Dakak, R. (2022). The role of plant growth promoting rhizosphere microbiome as alternative biofertilizer in boosting *Solanum melongena* L. Adaptation to salinity stress. *Plants*, *11*, 659.

Neshat, M., Abbasi, A., Hosseinzadeh, A., Sarikhani, M.R., Dadashi Chavan, D., & Rasoulnia, A. (2022). Plant growth promoting bacteria (PGPR) induce antioxidant tolerance against salinity stress through biochemical and physiological mechanisms. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *28*(2), 347-361.

Pena Calzada, K., Calero Hurtado, A., Olivera Viciedo, D., Habermann, E., de Mello Prado, R., de Oliveira, R., Ajila, G., Tenesaca, L.F.L., Rodríguez, J.C., & Gratão, P.L. (2023). Regulatory role of silicon on growth, potassium uptake, ionic homeostasis, proline accumulation, and antioxidant capacity of soybean plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, .1-13.

Rasheed, F., Anjum, N.A., Masood, A., Sofo, A., & Khan, N.A. (2020). The key roles of salicylic acid and sulfur in plant salinity stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-14.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F., & Abbas, F. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*, 15416-15431.

Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., Hussan, M.U., & Sarwar, M.I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Nat. Sci*, *17*(1), 34-40.

Shabaan, M., Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Zhang, X., Sardar, M.F., & Li, H. (2022). Salt-tolerant PGPR confer salt tolerance to maize through enhanced soil biological health, enzymatic activities, nutrient uptake and antioxidant defense. *Frontiers in Microbiology*, *13*, .901865.

Shabala, S. ed. (2017). Plant stress physiology. Cabi.

Shultana, R., Zuan, A.T.K., Naher, U.A., Islam, A.M., Rana, M.M., Rashid, M.H., Irin, I.J., Islam, S.S., Rim, A.A., & Hasan, A.K. (2022). The PGPR mechanisms of salt stress adaptation and plant growth promotion. *Agronomy*, *12*(10), 2266.

Tabur, S., Avci, Z.D., & Özmen, S. (2021). Exogenous salicylic acid application against mitodepressive and clastogenic effects induced by salt stress in barley apical meristems. *Biologia*, *76*, 341-350.

Talaat, N.B. (2021). Co-application of melatonin and salicylic acid counteracts salt stress-induced damage in wheat (*Triticum aestivum* L.) photosynthetic machinery. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*, 2893-2906.

Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Alaee, T. (2021). Hydrochar mitigates salt toxicity and oxidative stress in maize plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *67*(8), 1104-1118.

Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Rathjen, J. (2018). Biochar and lignite affect H^+-ATPase and H^+-PPase activities in root tonoplast and nutrient contents of mung bean under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129, 141-149.

Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(9), 4609.

The effects of plant growth-promoting bacteria, foliar sprays of salicylic acid and silicon on growth parameters of garlic under salt stress

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Salinity stress is a global problem that negatively affects plant growth and productivity. It is the second most common form of environmental stress after drought stress, and it is prevalent in Iran and worldwide. Salinity stress causes various physiological changes in plants, leading to hindered growth. Several solutions have been suggested to alleviate the impact of salt stress, and one of the most effective methods is the use of plant growth-promoting bacteria. Additionally, silicon, a vital nutrient, and salicylic acid, a stress resistance hormone, have distinct roles in enhancing plant resistance to salt stress. Garlic is a highly valuable and widely utilized product in the food and pharmaceutical industries globally, with significant economic value. However, its production can decrease under salt stress.

Objectives

The purpose of this study was to examine the potential impact of growth-promoting bacteria, salicylic acid, and silicon on enhancing the growth of garlic plants when exposed to high levels of salt.

Materials and Methods

This study was performed using a factorial design with randomized complete blocks in three replications. The main factors of the experiment were the foliar spraying of salicylic acid and silicon, as well as the use of growth-stimulating bacteria (*Azospirillum* and *Azotobacter*) under salt stress. The experiment took place in a greenhouse, using perlite as the culture medium. The bacteria were used both individually and in combination.

Results

Salinity stress had negative effects on various aspects of plant growth, including plant height, leaf growth, number of leaves, potassium levels in roots and leaves, plant weight, and garlic yield. Conversely, it led to an increase in sodium concentration in both the root and leaf tissues. The application of growth-stimulating bacteria (*Azospirillum* and *Azotobacter*), along with salicylic acid and silicon foliar spray, improved plant growth, increased potassium levels in leaves and roots, and enhanced garlic yield in both saline and non-saline conditions. These treatments also reduced the absorption and accumulation of sodium in plant tissues. Among the tested treatments, the combination of foliar spraying with salicylic acid, and the use of *Azospirillum* and *Azotobacter*, had the best results in enhancing the growth and productivity of garlic under salt stress. Nevertheless, other treatments, whether applied individually or in combination, also demonstrated positive effects on plant growth in both saline and non-saline conditions.

Conclusion

The results of this research clearly showed that salt stress can cause a decrease in garlic yield by reducing the overall growth of the plant. Using biological fertilizers to manage plant growth is an effective strategy for increasing plant production under salt stress. The utilization of growth-promoting bacteria, particularly when used in combination, can enhance plant growth in conditions of salt stress. Based on this, it is recommended to use growth-promoting bacteria in combination with salicylic acid to enhance plant growth under salt stress.