



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



کاربرد کنسرسیوم باکتریایی بومی گیاهان هالوفیت برای افزایش مقاومت جو به شوری تحت

آبیاری با آب دریا

عرفان توسلیان^۱، حسن اعتصامی^{۱*}، علیرضا راهب^۱

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

*hassanetesami@ut.ac.ir

چکیده

کمبود منابع آب شیرین از چالش‌های اصلی کشاورزی در مناطق خشک است. استفاده از آب دریا می‌تواند راهکاری پایدار برای تأمین نیاز آبی باشد، اما شوری بالا ($EC > 4 \text{ dS/m}$) رشد گیاه و حاصلخیزی خاک را محدود می‌کند. در این پژوهش، برای بهبود تحمل شوری جو، ۷۲ جدایه باکتریایی از سه گیاه هالوفیت ساحلی جداسازی و با رویکرد غربالگری مبتنی بر گیاه روی چهار رقم جو خاتم، مهر، گلشن و طبس ارزیابی و یک کنسرسیوم ۸ تایی برتر انتخاب گردید. کارایی کنسرسیوم در گلخانه و در طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با دو سطح تلقیح (حضور و عدم حضور باکتری) و پنج سطح شوری آب آبیاری (آب معمول/ هدایت الکتریکی ۸، ۱۵ و 20 dS.m^{-1} / آب دریا) سنجیده شد. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل وزن خشک اندام هوایی، تعداد بذر و غلظت پرولین بودند. تلقیح اثر افزایشی بر زیست‌توده گیاه داشت و با تشدید تنش پرنرگ‌تر شد. تلقیح موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد در آبیاری با آب معمول (۵/۵ درصد) شد، در حالی که این میزان در آبیاری با آب دریا ۸/۵ درصد بود. تعداد بذر با تلقیح باکتریایی در $EC=20$ حدود ۱۳ درصد افزایش یافت و در آب دریا بخشی از افت را جبران کرد. غلظت پرولین در بافت گیاهی با افزایش شوری افزایش داشت اما در همه سطوح در تیمار تلقیح‌شده کمتر بود.

واژگان کلیدی: تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، تاب‌آوری گیاه، سازگاری میکروبی، کشاورزی پایدار، تحمل شوری

۱- مقدمه

کمبود آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر است که امنیت غذایی و توسعه پایدار را تهدید می‌کند. افزایش جمعیت جهان که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد (United Nations, 2022)، نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی را افزایش داده است. همزمان، تغییرات اقلیمی با افزایش دما و تغییر الگوهای بارش، منابع آب شیرین را تحت فشار قرار داده است (Caretta et al., 2022). با توجه به اینکه بیش از ۷۰ درصد آب شیرین قابل دسترس به کشاورزی اختصاص می‌یابد، استفاده از منابع آبی جایگزین مانند آب دریا اجتناب‌ناپذیر است. آب دریا به عنوان منبعی تقریباً نامحدود مطرح است اگرچه فناوری‌های نمک‌زدایی استفاده از این منبع را ممکن ساخته‌است (Jones et al., 2019)، اما کاربرد آب نمک‌زدایی‌شده در کشاورزی به دلیل غلظت بالای یون‌های مضر می‌تواند منجر به شوری و سدیمی شدن خاک شود. شوری خاک یکی از جدی‌ترین موانع بهره‌وری کشاورزی است که بر اساس گزارش‌های FAO (2024) حدود یک میلیارد هکتار از اراضی جهان را تحت تأثیر قرار داده است. شوری نه تنها رشد گیاه را مختل می‌کند، بلکه چرخه‌های بیوژئوشیمیایی خاک مانند نیتروژن را نیز برهم می‌زند (Meng et al., 2025). همچنین، شوری تنوع میکروبی خاک را کاهش داده و همزیستی‌های مفید را تضعیف می‌کند (Savastano et al., 2024). در میان راهکارهای مقابله با شوری، استفاده از باکتری‌های محرک رشد



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



گیاه به عنوان رویکردی پایدار مطرح است (Gao et al., 2022). پژوهش حاضر با هدف جداسازی و ارزیابی باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی مقاوم به شوری گیاهان بومی شورپسند در مناطق ساحلی جنوب ایران، و بررسی توانایی آن‌ها در کاهش اثرات منفی آبیاری با آب دریا بر گیاه جو طراحی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- جداسازی باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی از گیاهان شورپسند
با هدف جداسازی باکتری‌های ریزوسفری و اندوفیتی، نمونه‌برداری از گونه‌های گیاهی (*Calotropis procera* و *Salsola drummondii*) سازگار با آب شور در مناطق ساحلی بندر جاسک واقع در استان هرمزگان انجام شد. پس از شناسایی گیاهان با کمک منابع گیاه‌شناسی و افراد محلی، خاک ریزوسفری و بافت ریشه نمونه‌ها جمع‌آوری و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای برآورد جمعیت میکروبی قابل کشت از روش شمارش کلونی بر روی محیط نوترینت آگار استفاده گردید. جهت جداسازی باکتری‌های اندوفیتی، پس از ضدعفونی سطحی ریشه‌ها، بافت ریشه له شده و در آب مقطر استریل مخلوط گردید. سوسپانسیون حاصل بر روی محیط کشت نوترینت آگار کشت داده شده و پس از گرماگذاری در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های فنوتیپی تفکیک و برای مطالعات بعدی انتخاب شدند. صحت فرآیند ضدعفونی سطحی با کشت آب شستشوی نهایی بر روی محیط کشت تأیید گردید.

۲-۲- غربالگری جدایه‌های باکتریایی بر پایه نقش انتخابگری گیاه جو
در این مطالعه، به جای روش متداول غربالگری جدایه‌های باکتریایی بر اساس ویژگی‌های متابولیتی (مانند تولید هورمون، حل‌کنندگی فسفات)، از چهار رقم جو شامل خاتم، مهر، گلشن و طمس به‌عنوان میزبان استفاده شد تا جدایه‌های سازگار و کارآمد در تنش شوری شناسایی شوند. جدایه‌ها ابتدا در شرایط گلخانه، به ارقام مختلف جو تلقیح شدند. در هر گلدان مخلوطی از ۸ جدایه به ۲۰ بذر اعمال شد. برای هر رقم ۸ گلدان (شامل شاهد بدون تلقیح) در نظر گرفته شد و در مجموع ۳۲ گلدان کشت گردید. آبیاری با آب آبیاری معمول آغاز شد، از پایان هفته دوم رشد و هم‌زمان با مرحله پنجه‌زنی، سهم آب دریا به‌صورت تدریجی افزایش یافت تا از ابتدای ماه سوم آبیاری به‌طور کامل با آب دریا انجام شد. پس از حدود سه ماه، اندام هوایی برداشت، ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. بر این اساس رقم گیاه و کنسرسیوم برتر انتخاب و جدایه‌های متناظر برای مرحله اصلی به‌کار رفتند. برخی ویژگی‌های آب دریا اندازه‌گیری گردید که در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های آب دریا

pH	EC (dS/m)	پتاسیم (mg/l)	سدیم (mg/l)
۷/۷	۵۰/۶	۵۵۴/۰۹	۱۹۷۴۵/۳۰

۲-۳- بررسی توان کنسرسیوم برتر در بهبود عملکرد گیاه جو در گرادیان شوری آب آبیاری
خاک از مزارع تحت کشت منطقه آبیک استان البرز تهیه و پس از آماده‌سازی در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی ریخته شد. خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی خاک در جدول ۲ آمده است. رطوبت خاک طی رشد در بازه ۶۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب حفظ شد و توصیه کودی بر اساس نتایج آنالیز خاک و برای همه تیمارها یکسان اعمال گردید. طرح آزمایش به‌صورت کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در دو سطح با سه تکرار اجرا شد: ۱- تلقیح میکروبی با کنسرسیوم ۸ تایی منتخب (حضور و عدم حضور باکتری) ۲- هدایت الکتریکی آب آبیاری با اختلاط آب دریا با آب آبیاری معمول در یک گرادیان شوری (آب

آبیاری معمول/ ۸، ۱۵ و ۲۰ دسی زمینس بر متر/ آب دریا). از پایان هفته دوم سهم آب شور تدریجا افزایش یافت تا از انتهای ماه اول آبیاری کاملا با بالاترین هدایت الکتریکی در هر تیمار انجام شود. پس از حدود دو ماه، اندام هوایی برداشت شد و شاخص‌های پاسخ گیاه شامل وزن خشک اندام هوایی، تعداد بذر و غلظت پرولین اندازه‌گیری گردید. در نهایت تحلیل آماری نتایج با نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون Tukey در سطح ۵ درصد انجام شد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

بافت خاک	pH	EC عصاره گل اشباع (dS/m)	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	پتاسیم فراهم (mg/kg)	آهن فراهم (mg/kg)	روی فراهم (mg/kg)	فسفر فراهم (mg/kg)
لوم	۷/۴۶	۲/۱۲	۱۴/۳۵	۰/۲۹	۳۲۵	۲/۵	۱/۱	۳/۲

۳- نتایج و بحث

۳-۱- جدایه های ریزوسفری و اندوفیتی گیاهان شورپسند

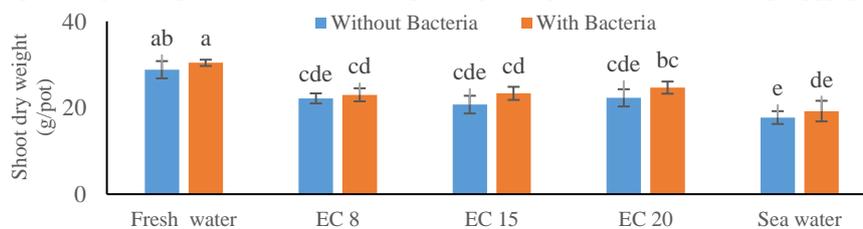
از ۳ گونه شورپسند نمونه‌برداری شده در مجموع ۷۲ جدایه ریزوسفری و اندوفیتی خالص‌سازی شدند که تنها ۵۶ جدایه توانستند درصد جوانه‌زنی بذره‌های جو را در هر چهار رقم مورد مطالعه به بیش از ۸۰ درصد افزایش دهند. این جدایه‌ها بر اساس معیار کارایی در بهبود جوانه‌زنی انتخاب شده و برای مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. جمعیت باکتری‌های قابل کشت در گونه گیاهی *Avicennia marina* 1.05×10^8 CFU.gsoil⁻¹، در *Calotropis procera* 1.07×10^8 CFU.gsoil⁻¹ و در *Salsola drummondii* 1.07×10^7 CFU.gsoil⁻¹ برآورد شد.

۳-۲- اثر ارقام مختلف جو در انتخاب کنسرسیوم باکتریایی برتر

از میان ۵۶ جدایه منتخب (شامل ۶ جدایه اندوفیتی و ۵۰ جدایه ریزوسفری که در ۷ گروه هشت‌تایی دسته‌بندی شده بودند)، گروه شماره ۱ متشکل از ۸ جدایه توانستند بیشترین میزان زیست‌توده (ماده خشک) را در رقم مهر در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه ایجاد نمایند. بر این اساس، این گروه باکتریایی به همراه رقم مهر به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شده و برای مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۳- اثر کنسرسیوم باکتریایی بر خصوصیات رشدی گیاه جو در گرادیان شوری آب آبیاری

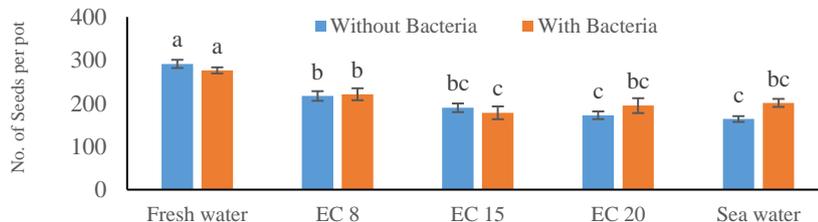
نتایج وزن خشک اندام هوایی گیاه (شکل ۱) نشان داد که در شرایط آبیاری با آب معمول، اگرچه حضور باکتری تفاوت معنی‌داری در این شاخص نشان نداد اما با افزایش حدود ۵/۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به عدم تلقیح باکتری همراه بود. این افزایش وزن در EC های ۸، ۱۵، ۲۰ و آب دریا به ترتیب ۳/۸، ۱۲/۶، ۱۰/۳ و ۸/۵ درصد اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- اثر کنسرسیوم باکتریایی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه جو تحت آبیاری در طیف شوری با اختلاط آب دریا تفاوت حروف نشان دهنده معنی داری اختلاف می‌باشد ($p < 0.05$)

این افزایش از ۵/۵ درصد در آب معمول تا ۸/۵ درصد در آب دریا شدت گرفت که نشان می‌دهد با تشدید تنش، اثر حفاظتی تلقیح پرنرگ‌تر می‌شود. شوری معمولاً عملکرد گیاهی را کاهش می‌دهد و یک مداخله کارا مانند تلقیح می‌تواند این تابع را در همه سطوح شوری به بالا جابه‌جا کند، بنابراین فاصله عملکرد میان تیمار تلقیح‌شده و شاهد در شوری‌های بالاتر بیشتر به چشم می‌آید. در مقایسه مستقیم آب معمول و آب دریا، افت وزن خشک در تیمار تلقیح‌شده ۵۸ درصد و در شاهد ۶۲ درصد بود؛ بنابراین تلقیح بخشی از افت زیست‌توده را در شوری‌های بسیار بالا جبران کرد. از آن‌جا که حتی در شوری معادل آب دریا زیست‌توده به صفر نرسید، نتیجه کاربردی آن است که در نواحی شور ساحلی می‌توان به کشت جو با دیدگاه مصارف علوفه‌ای تحت اختلاط آب دریا با آب معمول و مدیریت شوری (کسر آبیاری و زمان برداشت) اندیشید. شواهد میدانی و گلدانی در مطالعات قبلی نیز امکان‌پذیری استفاده از آب‌های بسیار شور یا رقیق‌شده و پایداری تولید زیست‌توده جو را تأیید کرده‌اند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تحت آبیاری با آب شور زیست‌توده و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد که راهکارهای مدیریتی یا ژنتیکی می‌تواند این افت را تعدیل کند (Hammami et al., 2020). در شرایط بیابانی و شور، مدیریت آبیاری و سیستم کشت نیز به پایداری زیست‌توده جو کمک کرده است (Ashilenje et al., 2023). مطالعات جدید بر امکان تولید زیست‌توده قابل اتکای گیاهان تحت شوری پرداخته‌اند، با این هشدار که ترکیب معدنی علوفه باید برای برخی عناصر نظیر Na و Cl پایش شود (Abebe and Tu, 2024). به دلیل نتایج متغیر استفاده از یک سویه منفرد PGPR در شرایط شوری، تلقیح کنسرسیوم باکتریایی به‌عنوان رویکردی موثرتر مطرح شده است (Khan et al., 2022). در کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، انباشت نیتروژن دانه در گندم تحت آبیاری با آب شور به میزان ۵۷ درصد نسبت به عدم تلقیح باکتری افزایش گزارش شد (Alharbi et al., 2023). این یافته‌ها نشان می‌دهد که کنسرسیوم‌های میکروبی می‌توانند رشد و زیست‌توده گیاه را حتی تحت تنش‌های شوری بهبود دهند. افزایش مشاهده‌شده در این پژوهش را می‌توان به چند سازوکار کلیدی نسبت داد: تولید آنزیم ACC دآمیناز، بهبود تعادل یونی، بهبود دسترسی عناصر غذایی، حفظ وضعیت اسمزی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو (Shultana et al., 2022).

شکل ۲ نتایج بررسی تعداد بذر گیاه در گلدان را نشان می‌دهد. حضور کنسرسیوم باکتریایی تأثیر مثبتی بر افزایش عملکرد زایشی گیاه نشان داد. اگرچه حضور باکتری در هر شوری تفاوت معنی‌داری در این شاخص نشان نداد اما در طول گلدان شوری آب آبیاری، از هدایت الکتریکی 20 dS.m^{-1} اثر کنسرسیوم باکتریایی با تفاوت بین تیمارهای تلقیح‌شده و تلقیح نشده نمایان شد، به طوری که در EC 20 حضور باکتری موجب افزایش ۱۳ درصدی گردید. در آبیاری با آب دریا نیز هرچند تعداد بذرها کاهش یافت، اما حضور باکتری‌ها توانست بخشی از این افت را جبران کند. این نتایج نشان می‌دهند که باکتری‌ها با بهبود جذب عناصر غذایی و کاهش اثرات منفی شوری، نقش مؤثری در حفظ و افزایش توان تولیدی گیاه دارند.

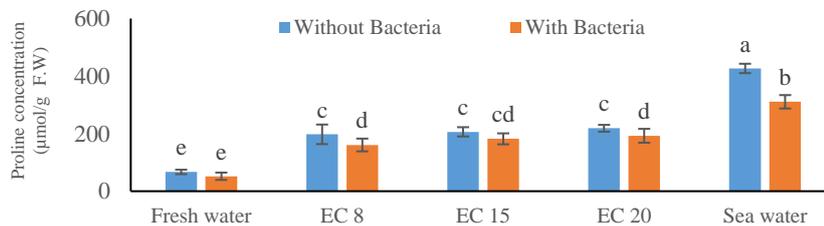


شکل ۲- اثر کنسرسیوم باکتریایی بر تعداد دانه گیاه جو تحت آبیاری در طیف شوری با اختلاط آب دریا تفاوت حروف نشان دهنده معنی‌داری اختلاف می‌باشد ($p < 0.05$)

این الگو با حساسیت بالای مراحل زایشی به شوری سازگار است. شوری معمولاً با اختلال در باروری و تشکیل دانه، تعداد بذر هر سنبله و در نهایت عملکرد زایشی را می‌کاهد. لذا اثر مداخله مؤثر کنسرسیوم باکتریایی در شدت‌های بالاتر تنش پرنرگ‌تر

دیده می‌شود. شواهد اخیر نیز کاهش معنی‌دار عملکرد زایشی جو تحت شوری و قابلیت تعدیل نسبی آن را تایید کرده (Mattioli et al., 2020). همچنین مطالعات نشان می‌دهند PGPR با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و کاهش استرس اکسیداتیو می‌تواند صفات زایشی را حفظ یا بهبود دهد؛ هرچند شدت و معنی‌داری اثر به ژنوتیپ و شدت تنش وابسته است (Ali et al., 2022; Sridhar et al., 2025).

نتایج بررسی غلظت پرولین (شکل ۳) در گرادیان شوری نشان می‌دهد که تجمع پرولین به‌طور قابل توجهی با افزایش شوری (تنش) افزایش می‌یابد، که بیانگر پاسخ سازشی گیاه به تنش اسمزی است. در تمامی سطوح شوری، تیمارهای بدون باکتری دارای غلظت پرولین بالاتری نسبت به تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری بودند. این تفاوت به‌ویژه در شرایط آبیاری با آب دریا چشمگیرتر بود، که نشان می‌دهد گیاهان در عدم حضور کنسرسیوم باکتریایی جهت مقابله با تنش، پرولین بیشتری تولید کرده‌اند. از سوی دیگر، کاهش غلظت پرولین در تیمارهای با باکتری نشان‌دهنده نقش محافظتی باکتری‌ها در کاهش شدت تنش شوری است. این باکتری‌ها احتمالاً با بهبود جذب آب، تنظیم اسمزی و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، نیاز گیاه به تجمع پرولین را کاهش داده‌اند. بنابراین، حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه نه‌تنها موجب بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه می‌شود، بلکه می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش هزینه‌های متابولیکی ناشی از تنش شوری در گیاهان مورد استفاده قرار گیرد.



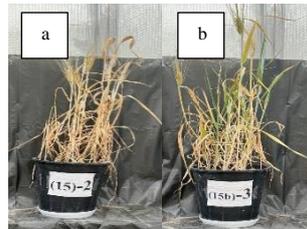
شکل ۳- اثر کنسرسیوم باکتریایی بر غلظت پرولین در بافت گیاه جو تحت آبیاری در طیف شوری با اختلاط آب دریا
تفاوت حروف نشان دهنده معنی داری اختلاف میباشند ($p < 0.05$)

نتایج این مطالعه با سایر مطالعات نیز همراستا بود. در جو، شوری به‌طور معناداری پرولین را افزایش می‌دهد و هم‌زمان نسبت سدیم و پتاسیم را برهم می‌زند؛ این الگوی پایه در ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ جو به‌روشنی گزارش شد (Ghonaim et al., 2023). تلقیح میکروارگانیسم‌ها با کاهش انباشت پرولین و بهبود وضعیت آب و یون‌ها به تحمل شوری در گیاه کمک می‌کند (Chen et al., 2023). از طرفی Alsamadany و همکاران (2024) دینامیک پرولین در جو را وابسته به ژنوتیپ، نوع و ترکیب تنش دانستند؛ بنابراین تغییرات پرولین باید در زمینه شدت تنش و پس‌زمینه ژنتیکی تفسیر شود.

در ایران، ارقام همچون خاتم، مهر، گلشن و طبس به‌طور رسمی برای کشت در اراضی شور معرفی شده‌اند. دامنه‌ی تحمل شوری این ارقام در محدوده EC آب آبیاری ۸ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (نیکخواه و همکاران، ۱۳۹۷؛ براتی و همکاران، ۱۳۹۹). با این حال، هدایت الکتریکی آب مورد استفاده ما برای آبیاری حدود ۵۰ dS/m بود (جدول ۱) که چندین برابر بالاتر از بازه‌های توصیه‌شده برای کشت این ارقام است.

شکل ۴ نمای مقایسه‌ای وضعیت ظاهری گیاه جو در حضور و عدم حضور باکتری در سطح شوری ۱۵ dS/m آب آبیاری را نشان می‌دهد. تصاویر پیش از برداشت گیاه ثبت شده‌اند. علائم تنش شوری مانند کاهش سبزینه، کوتاه‌فدی و نکروز برگ‌ها به وضوح مشاهده می‌شود، اما در تیمار تلقیح‌شده، شادابی ظاهری، سبزینه و حفظ زیست‌توده بهتر دیده می‌شود. این الگوی

بصری با نتایج کمی وزن خشک و شاخص کلروفیل هم‌خوان است و نشان می‌دهد تلقیح میکروبی می‌تواند بخشی از آثار منفی شوری را تعدیل کند.



شکل ۴- اثر تلقیح کنسرسیوم باکتریایی (b) بر خصوصیات رشدی گیاه جو رقم مهر تحت آبیاری با آب شور (۱۵ dS/m)

نهایتاً بیان این نکته ضروری است که اختلاط و تناوب آب شور و شیرین می‌تواند شوری ناحیه ریشه را مهار و تولید را پایدارتر کند (Jiang et al., 2025). روش‌های مدیریتی جدید نیز روی بهبود فرایند آبشویی برای دفع نمک از پروفیل خاک پس از استفاده از آب شور تأکید دارند (Bouhleb et al., 2024).

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که کنسرسیوم باکتریایی بومی جداسازی‌شده از هالوفیت‌ها، که با رویکرد انتخاب مبتنی بر گیاه و متناسب با رقم مهر برگزیده شد، می‌تواند آثار زیان‌بار شوری آبیاری را در جو کاهش دهد. تلقیح در تمام سطوح شوری اثر مثبت داشت و با افزایش شدت تنش، کارایی آن پررنگ‌تر شد؛ به‌گونه‌ای که افزایش وزن خشک اندام هوایی از حدود ۵/۵ درصد در آب معمول تا ۸/۵ درصد در آبیاری با آب دریا مشاهده شد. در مقایسه مستقیم آبیاری با آب معمول و آب دریا نیز افت زیست‌توده در تیمار تلقیح‌شده کمتر از شاهد بود که بیانگر نقش حفاظتی کنسرسیوم است. هم‌زمان، تعداد بذر در شوری‌های میانی بهبود یافت و در شوری بسیار بالا نیز تلقیح بخشی از افت را جبران کرد. کاهش پرولین در گیاهان تلقیح‌شده نسبت به شاهد در تمام سطوح شوری، به‌ویژه در آب دریا، حاکی از کاهش شدت تنش ادراک‌شده و بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه است. از نظر کاربری، وقتی تولید دانه در شوری‌های بالا اقتصادی نیست، تغییر زاویه دید به تولید علوفه برای نواحی ساحلی و اراضی بسیار شور قابل توصیه است. در چنین سناریویی، اختلاط آب دریا با آب معمول برای نگه‌داشتن EC در بازه‌های میانی، تعریف کسر آبشویی و زمان‌بندی مناسب برداشت، می‌تواند پایداری تولید زیست‌توده را افزایش دهد. با این حال، پایش ترکیب معدنی علوفه به‌ویژه سدیم و کلر برای ائمنی خوراک دام ضروری است. از منظر پژوهشی، تعمیم‌پذیری نتایج نیازمند آزمون‌های مزرعه‌ای چندمحلی روی ارقام مختلف جو و خاک‌های متنوع، ارزیابی پایداری استقرار و ماندگاری کنسرسیوم، سنجش دقیق‌تر تعادل یونی و عناصر غذایی، و مقایسه اثربخشی کنسرسیوم در کنار راهکارهای مکمل مانند اصلاح‌کننده‌های آلی و مدیریت آبیاری است.

فهرست منابع

- نیکخواه ح، طباطبائی ع، یوسفی ا، قزوینی ح، صابری ح، تجلی ح، محلوچی م، بیناباجی م ح، اقنوم ر، دهقان م ع، ذاکری ع، صفوی ص ع، (۱۳۹۷). مهر، رقم جو متحمل به تنش شوری برای کشت در اقلیم معتدل کشور. یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، (۲)۷، ۲۳۵-۲۴۹.
- براتی ع، نیکخواه ح، طباطبائی ی ع، محلوچی م، تجلی ح، کریمی زاده م، راوری ذ، قزوینی ح، سرخی ب، کوچکی ا ر، اقنوم ر، صفوی ص ع، پات پور م، بختیار ف، (۱۳۹۹). گلشن، رقم جدید جو متحمل به تنش شوری مناسب کشت در مناطق معتدل. یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، (۲)۹، ۱۵۳-۱۶۳.

Abebe, H., & Tu, Y. (2024). Impact of Salt and Alkali Stress on Forage Biomass Yield, Nutritive Value, and Animal Growth Performance: A Comprehensive Review. *Grasses*, 3(4), 355-368. <https://doi.org/10.3390/grasses3040026>



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



- Alharbi, K., Hafez, E.M., Omara, A.ED. et al. Zinc oxide nanoparticles and PGPR strengthen salinity tolerance and productivity of wheat irrigated with saline water in sodic-saline soil. *Plant Soil* 493, 475–495 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06245-7>
- Ali B, Hafeez A, Ahmad S, Javed MA, Sumaira, Afridi MS, Dawoud TM, Almaary KS, Muresan CC, Marc RA, Alkhalifah DHM and Selim S (2022) *Bacillus thuringiensis* PM25 ameliorates oxidative damage of salinity stress in maize via regulating growth, leaf pigments, antioxidant defense system, and stress responsive gene expression. *Front. Plant Sci.* 13:921668. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921668>
- Ashilenje, D.S., Amombo, E., Hirich, A. et al. (2023). Irrigated barley–grass pea crop mixtures can revive soil microbial activities and alleviate salinity in desertic conditions of southern Morocco. *Sci Rep* 13, 1317 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40337-9>
- Bouhleh, M., Khaskhoussy, K., & Hachicha, M. (2024). Improvement of Salt Leaching Efficiency and Water Content of Soil Through Irrigation with Electro-Magnetized Saline Water. *Water*, 16(20), 3010. <https://doi.org/10.3390/w16203010>
- Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R. A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T. K., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S., Supratid, S. (2022). Water. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 551–712). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>
- Chen, Z., Guo, Z., Zhou, L., Xu, H., Liu, C., & Yan, X. (2023). Advances in Identifying the Mechanisms by Which Microorganisms Improve Barley Salt Tolerance. *Life (Basel, Switzerland)*, 14(1), 6. <https://doi.org/10.3390/life14010006>
- Dhima, K., Vasilakoglou, I., Paschalidis, K., Karagiannidis, N., & Ilias, I. (2021). Salinity tolerance evaluation of barley germplasm for marginal soil utilization. *Italian Journal of Agronomy*, 16(3), 1830. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1830>
- Eskandari, M., Majidi, M. M., Iravani, F., Naderi, S., & Maibody, S. A. M. M. (2025). Enhancing salinity tolerance in barley: harnessing introgressed nested genomes from the wild ancestor *Hordeum spontaneum*. *BMC plant biology*, 25(1), 1025. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07044-1>
- Gao, Y., Zou, H., Wang, B., Yuan, F. (2022). Progress and Applications of Plant Growth-Promoting Bacteria in Salt Tolerance of Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 7036. <https://doi.org/10.3390/ijms23137036>
- Ghonaim, M.M., Attya, A.M., Aly, H.G. et al. (2023). Agro-morphological, biochemical, and molecular markers of barley genotypes grown under salinity stress conditions. *BMC Plant Biol* 23, 526 <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04550-y>
- Hammami, Z., Qureshi, A. S., Sahli, A., Gauffreteau, A., Chamekh, Z., Ben Azaiez, F. E., Ayadi, S., & Trifa, Y. (2020). Modeling the Effects of Irrigation Water Salinity on Growth, Yield and Water Productivity of Barley in Three Contrasted Environments. *Agronomy*, 10(10), 1459. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101459>
- Jiang, Y., Wang, L., Li, Y., Li, H., & Xue, R. (2025). Effect of Alternate Sprinkler Irrigation with Saline and Fresh Water on Soil Water–Salt Transport and Corn Growth. *Agronomy*, 15(8), 1854. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081854>
- Jones, E., Smakhtin, V., Qadir, Manzoor, van Vliet, M.T.H., Kang, S.-M., Qadir, M. (2019). The state of desalination and brine production: a global outlook. *Sci. Total Environ.* 657, 1343–1356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>
- Khan MY, Nadeem SM, Sohaib M, Waqas MR, Alotaibi F, Ali L, Zahir ZA, Al-Barakah FNI. (2022). Potential of plant growth promoting bacterial consortium for improving the growth and yield of wheat under saline conditions. *Front Microbiol.* 29;13:958522. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958522>
- Mattioli R, Palombi N, Funck D and Trovato M (2020) Proline Accumulation in Pollen Grains as Potential Target for Improved Yield Stability Under Salt Stress. *Front. Plant Sci.* 11:582877. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.582877>
- Meng, Y., Wang, T., Zhou, X., Yang, X., Hernández, M., Zhou, T., Lv, Q., Ren, X., Feng, H., Pan, H., & Hu, S. (2025). Evaluating the optimal land use pattern for saline-sodic soils from the perspective of nitrogen metabolism. *Environmental Technology & Innovation*, 40, 104363. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104363>
- Savastano, N., & Bais, H. (2024). Synergism or Antagonism: Do Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Work Together to Benefit Plants? *International Journal of Plant Biology*, 15(4), 944-958. <https://doi.org/10.3390/ijpb15040067>
- Shultana, R., Zuan, A. T. K., Naher, U. A., Islam, A. K. M. 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102266>
- Sridhar D, Alheswairini SS, Barasarathi J, Enshasy HAE, Lalitha S, Mir SH, Nithyapriya S and Sayyed R (2025) Halophilic rhizobacteria promote growth, physiology and salinity tolerance in *Sesamum indicum* L. grown under salt stress. *Front. Microbiol.* 16:1590854. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1590854>
- Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. (2024). Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture. *Bacteria*, 3(4), 434-451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



Application of a native halophyte-derived bacterial consortium to enhance barley salt tolerance under seawater irrigation

Erfan Tavasolian¹, Hassan Etesami¹, Alireza Raheb¹

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Abstract

Soil salinity and limited freshwater resources are major challenges for agriculture in arid and semi-arid regions. Using seawater can be a sustainable option to meet irrigation demand; however, high salinity ($EC > 4 \text{ dS m}^{-1}$) restricts plant growth and soil fertility. In this study, to improve barley salt tolerance, 72 bacterial isolates were obtained from three coastal halophyte species. Using a plant-based screening approach on four barley cultivars (Khatam, Mehr, Golshan, Tabas), an eight-strain consortium was selected. The consortium's performance was evaluated in a greenhouse completely randomized factorial design with two inoculation levels (presence/absence of bacteria) and five irrigation-salinity levels (fresh water; $EC = 8, 15, 20 \text{ dS m}^{-1}$; and seawater). Measured indices included shoot dry weight, seed number, and proline concentration. Inoculation increased plant biomass at all salinity levels and the effect became more pronounced as stress intensified. Relative to the uninoculated control, shoot dry weight increased by 5.5% under fresh-water irrigation, whereas under seawater it increased by 8.5%. Seed number increased by about 13% at $EC = 20 \text{ dS m}^{-1}$. Proline concentration increased with salinity, but at all levels it was lower in the inoculated treatment.

Keywords: Biostimulants, Plant resilience, Microbial adaptation, Sustainable agriculture, Salt tolerance