"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد سیزدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳
(ص ۵۶-۳۷)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of Seed Science and Technology
Vol.: 13, No.: 1, Spring 2024
(pp: 37-56)
DOI: 10.22092/ijsst.2023.361110.1468
Research Article

تاثیر باکتری‌های *Pseudomonas fluorescens* متحمل به شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دو رقم کنجد تحت تنش شوری

سارا یاوری رامشه[1]، فاطمه دهقان نیری[2*]

۱. دانش آموخته کارشناسی‌ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲. دانشیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳)

چکیده

در این پژوهش خصوصیات موفولوژیکی و بیوشیمیایی ۱۰ جدایه *Pseudomonas fluorescens*، تحمل به شوری و تاثیر جدایه‌ها بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گیاهچه‌های کنجد تحت تنش شوری بررسی شد. براساس نتایج تمام جدایه‌ها گرم منفی و دارای تحرک مثبت و خاصیت فلورسنتی بودند. قدرت حل‌کنندگی فسفات در محیط جامد برای جدایه‌های P_2، P_3 و P_9 بیشتر از سایر جدایه‌ها بود. توانایی تولید سیدروفور برخی جدایه‌ها بیشتر بود و جدایه‌های منتخب P_1، P_2، P_3، P_8 و P_{10} متحمل به شوری بودند. تاثیر جدایه‌ها بر جوانه‌زنی کنجد در آزمایشی بصورت فاکتوریل شامل دو رقم کنجد، چهار سطح شوری و سه جدایه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. براساس نتایج تأثیر باکتری، شوری، رقم و برهمکنش آنها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص‌های جوانه‌زنی، ضریب آلومتریک و شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه معنی‌دار بود. با اعمال تنش شوری، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت ولی پیش‌تیمار دانه‌های کنجد با جدایه‌های متحمل به شوری موجب افزایش صفات مرتبط با جوانه‌زنی و شاخص‌های رشدی ارقام کنجد شد. تاثیر تلقیح با جدایه P_9 بر همه صفات ازجمله میزان جوانه‌زنی بیشتر از سایر جدایه‌ها بود، اگرچه این جدایه در ارزیابی اولیه اعمال تنش شوری به باکتری‌ها مقاومت کمتری نسبت به تنش شوری از خود نشان داده بود. از اینرو جدایه P_9 از پتانسیل بالایی برای افزایش تحمل به شوری کنجد تحت تنش شوری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، جوانه‌زنی، کنجد، *Pseudomonas fluorescens*

The effect of salt-tolerant *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the characteristics of germination and seedling growth indices of two sesame cultivars under salt stress

S. Yavari Ramsheh[1], F. Dehghan Nayeri[2*]

1. MSc in Agricultural Biotechnology, Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.
2. Associate Professor, Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.
(Received: Mar. 09, 2023 – Accepted: Jun. 24, 2023)

Abstract

In this research, morphological and biochemical traits of 10 isolates of *Pseudomonas fluorescens* bacteria, salt tolerance and the effect of bacteria on germination and seedling growth indicators of sesame cultivars under salt stress were conducted. All isolates were Gram-negative and had positive motility and fluorescent properties. Among the bacteria, P_2, P_3 and P_9 isolates were more capable of solubilizing inorganic phosphorus. The ability to produce siderophore was higher in some isolates and the isolates P_1, P_2, P_3, P_8, and P_{10} showed the highest *in vitro* salt-tolerance. A factorial experiment including two sesame cultivars, 4 salinity levels and inoculation with 3 isolates was done in the form of a completely randomized design in three replications. Based on the results, the effect of bacteria, salinity, variety and their interaction on the percentage and rate of germination, germination indices, allometric coefficient and seedling length and weight index were significant. Under salt stress, the germination and growth of seedlings significantly decreased but, the pretreatment of sesame seeds with salt-tolerant isolates increased the characteristics related to germination and growth indices of sesame cultivars. The highest effect on all parameters including germination rate belonged to P_9. Therefore, P_9 isolate can be used to increase the tolerance of sesame to salinity stress.

Key words: Germination, *Pseudomonas fluorescens*, Salt stress, Sesame

* Email: nayeri@eng.ikiu.ac.ir

مقدمه

تحقیقات نشان داده است که میکروارگانیسم‌های متنوعی در قسمت های مختلف گیاه زندگی می‌کنند (Li *et al.*, 2020). این میکروارگانیسم‌ها به دو صورت جوامع میکروبی داخل بافت ها و اندام های گیاه میزبان (اندوفیت) و جوامع میکروبی خارج گیاه، اطراف ریشه یا ریزوسفر (اپی‌فیت) وجود دارند. اساسا جوامع میکروبی اندوفیت و اپی‌فیت می‌توانند به توانایی گیاهان در مبارزه با پاتوژن‌ها، بدون بروز آثار منفی یا آسیب به گیاه، کمک کنند (Mousa *et al.*, 2015). باکتری‌های شناسایی شده در قسمت ریزوسفر از خانواده‌های مختلفی مانند اکتینوباکترها و پروباکترها هستند که در این بین باسیلوس، سودوموناس، انتروباکتر، اروینیا، سراشیا، آرتروباکتر، رایموباکتریوم، بورخولدریا، آزپرولیوم، مایکوباکتریوم و فوروباکتریوم رایج‌ترین جنس‌های گزارش شده هستند. تعداد زیادی از گونه‌های باکتریایی در منطقه ریزوسفر گیاهان به شیوه‌های متفاوتی رشد گیاه را بهبود می‌بخشند که به این باکتری های اپی‌فیت ریزوباکتری های محرک رشد گیاه[1](PGPR) گفته می‌شود. از آنجائیکه ناحیه ریزوسفر سرشار از مواد مغذی است، این منطقه از خاک به عنوان مرکز رشد گروه‌های مختلف PGPR شناخته می شود. اساسا باکتری‌های PGPR به دو صورت مستقیم (با استفاده از تثبیت نیتروژن، افزایش جذب آهن، انحلال فسفات و تولید هورمون‌های گیاهی) و غیرمستقیم (جلوگیری از فعالیت عوامل بیمارگر گیاهی) باعث ارتقاء خصوصیات رشدی گیاهان می شوند. باکتری‌های PGPR با افزایش تحمل گیاهان در مقابل بیماری‌های گیاهی باعث افزایش عملکرد آنها می‌شوند. بنابراین این باکتری های مفید به دلیل خواص محافظتی و تحریک رشدی که دارند باعث کاهش استفاده از سموم شیمیایی به‌ویژه قارچ‌کش‌ها برای از بین بردن عوامل بیماری‌زا می‌شوند، در نتیجه می‌توان از آنها به عنوان یک راهکار مفید در کاهش آلایندگی زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه قارچ‌کش‌ها استفاده نمود (Li *et al.*, 2020). از طرف دیگر، باکتری‌های PGPR می‌توانند با افزایش انحلال فسفات نامحلول، مقادیر بالاتری از فسفر که دومین ماده مهم برای رشد گیاهان است را در دسترس سیستم ریشه‌ای گیاه قرار دهند. باکتری‌های PGPR با تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشدی مثل اکسین و جیبرلین، سیدروفور و ترکیبات موثر در مقابله با عوامل بیمارگر گیاهی مانند HCN، باعث حفاظت از سیستم ریشه‌ای و بهبود رشد اندام‌های هوایی گیاه و کاهش خسارت عوامل بیمارگر گیاهی می‌شوند (Jiang *et al.*, 2020). همچنین باکتری‌های PGPR از طریق تولید متابولیت‌های ثانویه به گیاهان در تعدیل تنش‌های غیرزیستی نیز کمک می‌کنند (Khalifa *et al.*, 2020). به عنوان مثال، در شرایط تنش شوری که با قلیایی شدن خاک و بالا رفتن pH آن همراه است، وجود یون‌های نمکی در خاک مانعی برای رشد گیاهان است و باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. یکی از روش‌های برطرف کردن این مشکل استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید از جمله باکتری‌های سودوموناس برای افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی است (Khanna *et al.*, 2019). امروزه فرمولاسیون‌های مختلفی از باکتری‌های PGPR در کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا باعث افزایش قدرت رشد گیاهان از طریق بهبود عملکرد آنها در پاسخ به تنش‌های زیستی و محیطی و بهبود رشد گیاهان از طریق تولید فیتوهورمون‌ها و افزایش کیفیت خاک شده‌اند (Guerrieri *et al.*, 2020). وجود چنین توانایی حفاظتی و تحریک کنندگی رشدی در باکتری‌های PGPR سبب شده است که طی دو دهه‌ی گذشته روند استفاده از این باکتری‌ها در مزارع کشاورزی صعودی شود، زیرا این میکروارگانیسم‌ها قادر هستند در شرایط مختلف وقوع تنش زیستی و غیرزیستی از گیاهان

[1]Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)

در مقابل عوامل آسیب‌زا حمایت کنند و در نهایت باعث رشد پایدار گیاهان زراعی شوند (Wang *et al.*, 2018). کنجد (*Sesamum indicum* L.) بعنوان ملکه دانه‌های روغنی، گیاهی دو لپه و متعلق به خانواده Pedaliaceae است. ارزش اقتصادی کنجد بدلیل وجود آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامین، سزامولین و توکوفرول است که می‌توان از آنها به طور موثر علیه میکروارگانیسم‌های مضر استفاده کرد (Purru et al., 2018). تحقیقات نشان داده است خشکسالی و شوری از عوامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. از میان تنش‌های غیرزیستی، تنش شوری همراه با تغییرات گسترده فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در بافت‌های مختلف گیاهان به‌ویژه سیستم ریشه‌ای است که موجب سمیت یونی، شوک اسمزی و تنش اکسیداتیو می‌شود. اثرات مضر ناشی از شوری می‌تواند از طریق کاهش توانایی گیاه در جذب آب و مواد مغذی، گیاهان را در معرض تنش‌های ثانویه دیگری مانند کاهش رشد شدید بخش هوایی گیاه قرار دهد (Padikasan *et al.*, 2018). برای کاهش اثرات مضر شوری، لازم است از روشی استفاده شود که پتانسیل گیاه را در حفظ رشد و بهره‌وری در شرایط شوری افزایش دهد. اگرچه اصلاح گیاهان و مهندسی ژنتیک روش‌های امیدوارکننده‌ای برای افزایش تحمل گیاهان نسبت به انواع مختلف تنش‌های محیطی هستند، اما این روش‌ها با توجه به محدودیت‌های فناوری و هزینه‌ای مقرون به صرفه نیستند (Ashraf *et al.*, 2018). گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های PGPR به دلیل تولید ریشه بیشتر، عناصر معدنی را به طور موثرتری از خاک جذب می‌کنند. همچنین باکتری‌های PGPR از طریق تغییر فیزیولوژی گیاه، تحمل سیستمیک به تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند شوری، خشکی و فلزات سنگین را القاء می‌کند (Egamberdieva *et al.*, 2017). باکتری‌های متحمل به تنش شوری طیف وسیعی از باکتری‌ها هستند که می‌توانند با ترشح متابولیت‌های ثانویه اختصاصی اثر سمیت یون‌های نمک موجود در خاک را خنثی نمایند و با بهبود pH خاک زمینه را برای رشد گیاهان فراهم کنند. توانایی باکتری‌های متحمل به تنش شوری در تحریک رشد گیاهان زراعی سبب شده است تا از این میکروارگانیسم‌ها به عنوان عوامل تعدیل کننده شوری خاک در کشاورزی پایدار استفاده شود (Safdarian *et al.*, 2017). بنابراین، استفاده از باکتری های PGPR در کشاورزی پایدار به عنوان میکروارگانیسم های مفید نه تنها باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی می‌شود، بلکه سبب افزایش کیفیت خاک زراعی نیز می‌گردد که به واسطه‌ی آن محصولات زراعی قادر به رشد پایدار در هنگام وقوع تنش‌های غیرزیستی مانند تنش شوری خواهند بود (Manasa *et al.*, 2017).

در این پژوهش ابتدا خصوصیات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و تحمل به شوری ۱۰ جدایه باکتری سودوموناس فلورسنس[1] مطالعه شد و سپس تاثیر تلقیح دانه دو رقم کنجد، اولتان و داراب، با سه جدایه منتخب (P_2، P_3 و P_9) روی جوانه‌زنی دانه های کنجد و رشد گیاهچه‌ها در شرایط تنش شوری بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه بیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) صورت گرفت. ده جدایه باکتری *P. florescence* از موسسه خاک و آب کرج تهیه شد. سپس با استفاده از روش‌های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی و محیط‌های کشت اختصاصی اقدام به تایید گونه هدف شد. نگهداری جدایه ها در گلیسرول ۲۰ درصد طبق روش مروج و همکاران (Moravej *et al.*, 2019) انجام شد.

برای تعیین ویژگی های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی جدایه‌ها، آزمون‌های تحرک، رنگ‌آمیزی گرم، بررسی شکل ظاهری کلنی جدایه‌ها، کاتالاز، سیترات، ویژگی

[1] *Pseudomonas fluorescence*

فلورسنتی، متیل‌رد، اوره‌آز، تولید اکسین، سیدروفور و سیانیدهیدروژن با روش‌های استاندارد انجام شدند. فلورسنس بودن جدایه‌ها به روش گریگرسن (Gregersen, 1978) با مشاهده رنگ فلورسنس در محل رشد کلنی‌ها در محیط کشت King B زیر نور فرابنفش تایید شد. تعیین شکل ظاهری و ویژگی‌های مورفولوژیکی، بر مبنای دستورالعمل اَزهر و همکاران (Azhar *et al.*, 2014) بررسی شد. تست کاتالاز به روش ماراکانا و همکاران (Marakana *et al.*, 2018) از طریق ایجاد حباب با افزودن هیدروژن‌پراکسید بررسی شد. توان تحرک باکتری‌ها به روش اسچاد و همکاران (Schaad *et al.*, 2001) به‌وسیله میکروسکوپ بررسی گردید. آزمون متیل‌رد به روش ماراکانا و همکاران (Marakana *et al.*, 2018) پس از رشد باکتری در محیط کشت MR_VP و افزودن چند قطره معرف متیل‌رد، بررسی شد. ارزیابی سیترات با استفاده از روش ماراکانا و همکاران (Marakana *et al.*, 2018) در محیط کشت سیمون سیترات آگار و تولید رنگ آبی بررسی شد. آزمون هیدرولیز اوره به روش استفاده شده ماراکانا و همکاران (Marakana *et al.*, 2018) در محیط کشت Christensen`s Urea و ظهور رنگ قرمز بررسی شد. تولید سیدروفور از طریق ایجاد هاله نارنجی- ارغوانی در محیط کشت Cas_Agar به روش اسچویین و همکاران (Schwyn and Neilands, 1987) بررسی شد. توان تولید سیانیدهیدروژن بر مبنای روش سودوی و همکاران (Sudewi *et al.*, 2020) در محیط کشت LB غنی شده با ۴ گرم در لیتر گلایسین و قرار دادن کاغذ صافی آغشته به محلول CDS بررسی شد. میزان تولید اکسین با استفاده از روش یاسیح و همکاران (Yaish *et al.*, 2015) با رشد باکتری در محیط کشت TSB حاوی ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر L-tryptophane ارزیابی گردید. توان حل‌کنندگی فسفات در محیط جامد با استفاده از روش برگی و همکاران (Bergey, 1994) در محیط کشت NBRIP بررسی شد. میزان تحمل جدایه‌ها به شوری به روش صفدریان و همکاران (Safdarian *et al.*, 2017)، با رشد هر جدایه در محیط نوترینت براث (NB) در غلظت‌های شوری صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ میلی‌مولار و تعیین تراکم باکتری‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

به منظور بررسی اثر باکتری‌ها روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام مختلف کنجد تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پیش‌تیمار دانه‌های کنجد در سه سطح باکتری (جدایه‌های P_2، P_3 و P_9 و بدون پیش‌تیمار)، شوری در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم) و ارقام کنجد (اولتان و داراب) بود. از آب مقطر سترون به عنوان شاهد و از کلریدسدیم برای سایر تیمارها استفاده شد. برای تلقیح دانه‌های کنجد با باکتری با توجه به نتایج مشابهی که توسط فتح‌الهی و مظفری (Fathollahy and Mozaffari, 2020) و استاسینو و همکاران (Stassinos *et al.*, 2022) گزارش شده است، از رقت باکتریایی 10^{-8} استفاده شد. دانه‌های ضدعفونی شده در رقت تعیین شده باکتری با توجه به روش گزارش شده توسط البرکه و سوهیب (Al-Barakah and Sohaib, 2019)، با حضور محلول گلوکز به عنوان ماده مغذی و صمغ عربی برای چسبندگی بهتر در شرایط تاریکی غوطه‌ور شدند. دانه‌های شاهد در محیط کشت خالص بدون باکتری غوطه‌ور شدند. سپس دانه‌ها تحت شوری صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم روی کاغذ صافی استریل در ظروف پتری جوانه‌دار شدند. شمارش دانه‌های جوانه‌زده از روز سوم در ساعت‌های مشخص انجام شد. سرعت جوانه‌زنی (GR)[1]، درصد جوانه‌زنی (GP)[2]، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه (SD)[3] و وزن تر گیاهچه برمبنای روش مصطفوی و حیدریان (Mostafavi and Heidarian,

[1] Germination rate
[2] Germination percentage
[3] Seedling DW

2021) اندازه‌گیری گردید. در این راستا، شاخص‌های موردنظر با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

۱- درصد جوانه‌زنی: از قدیمی‌ترین شاخص‌های بررسی در جوانه‌زنی است و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود: ۱۰۰×(تعداد کل دانه‌ها /تعداد دانه‌های جوانه‌زده پس از هفت روز) = درصد جوانه‌زنی (Piri, 2018)

۲- سرعت جوانه‌زنی: (تعداد روز / تعداد دانه‌های جوانه‌زده) = سرعت جوانه‌زنی (Piri, 2018)

۳- شاخص طولی بنیه گیاهچه (VI) : ۱۰۰/ (طول گیاهچه (سانتی‌متر) × درصد جوانه‌زنی استاندارد = شاخص طولی بنیه گیاهچه (Mahlooji, 2021)

۴- شاخص وزنی بنیه گیاهچه (VII)[2]: ۱۰۰/ (وزن گیاهچه (گرم) × درصد جوانه‌زنی استاندارد) = شاخص وزنی بنیه گیاهچه (Hamidi *et al.*, 2021)

۵- ضریب آلومتریک (AC)[3]: طول ریشه‌چه / طول ساقه‌چه = ضریب آلومتریک (Soltani Alikooyi *et al.*, 2020)

صفات مورد بررسی با نرم‌افزار SAS آنالیز شد و مقایسه میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در این پژوهش خصوصیات ظاهری، مورفولوژیکی، تست‌های بیوشیمیایی و صفات محرک رشد ۱۰ جدایه باکتری سودوموناس فلورسنس بررسی شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آزمون‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی جدایه‌های *P. fluorescence*

Table 1- The results of morphological and biochemical tests of *P. fluorescence* isolates

جدایه Isolate	شکل کلنی Colony shape	شکل سلول باکتری Bacterial cell shape	تست گرم Gram reaction	خاصیت فلورسنسی Fluorescence property	تحرک Mobility	سیترات Citrate	اوره_آز Urease	کاتالاز Catalase
P_1	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_2	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	−	+	+	+
P_3	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_4	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	−	+	+	+
P_5	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_6	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_7	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای کوتاه Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_8	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای کوتاه Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_9	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای کوتاه Bacilli form	−	+	+	+	+	+
P_{10}	صاف و دورگرد Smooth and round	میله‌ای Bacilli form	−	+	+	+	+	+

[1] Vigor index I
[2] Vigor index II
[3] Allometric coefficient

سنجش حل‌کنندگی فسفات جدایه‌ها در محیط جامد

فسفر از مهمترین عناصر تغذیه‌ای مورد نیاز گیاهان برای رشد است و کمبود آن باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می شود. این عنصر در اثر واکنش با عناصری مثل کلسیم و آهن از دسترس گیاه خارج می‌شود. گیاهان با تولید آنزیم فسفاتاز و به کمک میکروارگانیسم های اطراف ریشه قادر به تبدیل شکل نامحلول فسفات به شکل محلول و قابل استفاده آن هستند (Daneshvar *et al.*, 2020). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین جدایه‌ها در انحلال فسفات اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.01$) و توانایی انحلال فسفات در چند جدایه بیشتر از سایر جدایه‌ها بود. براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (جدول ۲) اختلاف معنی‌داری بین جدایه ها در انحلال فسفات در محیط جامد وجود دارد و برترین جدایه ها در انحلال فسفات در محیط جامد به ترتیب جدایه‌های P_2، P_3 و P_9 بودند (جدول ۲). براساس گزارش بیسواس و همکاران (Biswas *et al.*, 2018) پس از تلقیح دانه‌های ماش با باکتری‌هایی که بطور قابل توجهی دارای توانایی حل کردن فسفات در حضور فلزات سنگین هستند، تفاوت محسوسی در رشد گیاهان تیمار شده از طریق تولید آنزیم فسفاتاز در شرایط تنش مشاهده شد.

سنجش تولید سیدروفور جدایه‌های *P. fluorescens*

هر ۱۰ جدایه مطالعه شده در این پژوهش قادر به رشد در محیط CAS-آگار بودند. نسبت قطر هاله به قطر کلنی در سه زمان (روز دوم، روز چهارم و روز ششم) اندازه‌گیری شد که این نسبت در اندازه‌گیری اول از ۲/۱۰ تا ۳/۶۳، در اندازه‌گیری دوم از ۳/۶۷ تا ۱۰/۲ و در اندازه‌گیری سوم از ۱/۷۷ تا ۳/۵۰ متغیر بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین جدایه‌ها در تولید سیدروفور اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.01$). براساس مقایسه میانگین برترین جدایه ها در تولید سیدروفور جدایه‌های P_2، P_9 و P_{10} بودند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین فسفر، اکسین و سیدروفور با استفاده از آزمون دانکن.

Table 2- Comparison of mean square of phosphorus, auxin and siderophore by Duncan's test.

جدایه Isolate	فسفات Phosphate	اکسین Auxin	سیدروفور (قطر هاله/کلونی) Siderophore (۲ روز) (2 day)	(۴ روز) (4 day)	(۶ روز) (6 day)
P_1	1.37^{bcd}	0.84^{ab}	2.17^{b}	2.10^{c}	1.83^{c}
P_2	1.60^{abc}	0.92^{a}	3.63^{a}	3.77^{a}	2.77^{b}
P_3	1.63^{ab}	0.91^{a}	2.40^{b}	2.60^{bc}	1.77^{c}
P_4	1.30^{d}	0.71^{bc}	2.27^{b}	2.57^{bc}	1.80^{c}
P_5	1.43^{bcd}	0.75^{bc}	2.57^{b}	2.67^{b}	1.77^{c}
P_6	1.23^{d}	0.79^{abc}	2.10^{b}	2.07^{c}	1.57^{c}
P_7	1.27^{d}	0.67^{c}	2.50^{b}	2.67^{b}	2.13^{c}
P_8	1.33^{dc}	0.66^{c}	2.40^{b}	2.33^{bc}	2.13^{c}
P_9	1.73^{a}	0.91^{a}	3.37^{a}	3.67^{a}	3.50^{a}
P_{10}	1.40^{bcd}	0.82^{ab}	3.17^{a}	3.37^{a}	3.2^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

According to Duncan's test, mean square with same letters in each column are not significantly different at ($p<0.05$).

فرم غالب و فراوان آهن در خاک، آهن سه ظرفیتی غیر قابل جذب است. تحقیقات نشان داده است که میزان آهن موجود در خاک بدلیل استفاده از کودهای فسفره در خاک بسیار پایین است. کمبود آهن باعث می‌شود تا گیاهان از طریق مکانیسم های مختلفی مانند ترشح متابولیت‌هایی که سبب جذب باکتری‌های PGPR در محیط ریشه‌ای آنها می‌گردد، آهن مورد نیاز برای رشد بخش های هوایی را از خاک جذب کنند. باکتری های

PGPR قادر هستند تا از طریق کلات کردن آهن موجود در خاک آن را در اختیار ریشه گیاهان قرار دهند. از متنوع‌ترین عوامل کلات‌کننده باکتریایی می‌توان به سیدروفورها اشاره کرد که عمدتا توسط باکتری‌های سودوموناس فلورسنس سنتز و ترشح می‌شوند. سیدروفورها دارای وزن مولکولی پایین و میل ترکیبی بالا با آهن هستند (Abbas *et al.*, 2019). در نتیجه هنگامیکه این ترکیبات به محیط ریزو سفر تر شح می شوند می‌توانند آهن مورد نیاز گیاهان را تامین نمایند. در پژوهشی که توسط طهماسبی و همکاران (Tahmasbi *et al.*, 2014) روی ۳۸ جدایه سودوموناس فلور سنس انجام شده ا ست، جدایه‌های برتر انتخاب شده از نظر تولید سیدروفور باعث افزایش میزان کلروفیل گیاه تا ۲۰۲/۶۱ درصد، افزایش میزان جذب آهن تا ۱۷۹ درصد، افزایش وزن خشک اندام هوایی تا ۶۲ درصد و افزایش وزن خشک ریشه تا ۶۹ درصد نسبت به نمونه شاهد شدند که بدلیل تاثیر سیدروفور در فراهم کردن آهن قابل جذب برای گیاه ذکر شده است.

سنجش تولید سیانیدهیدروژن جدایه‌ها

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تمام جدایه‌ها توانایی تولید سیانیدهیدروژن را دارند. جدایه‌های P_1، P_3، P_4، P_5، P_8، P_9 و P_{10} توانایی تولید سیانیدهیدروژن قوی و سایر جدایه‌ها شامل جدایه‌های P_2، P_6 و P_7 پتانسیل تولید سیانیدهیدروژن در حد متوسط دارند. باکتری‌های تولیدکننده سیانیدهیدروژن عمدتا خاصیت زیست کنترلی از خود نشان می‌دهند، زیرا سیانیدهیدروژن قادر به تخریب دیواره سلولی عوامل بیمارگر گیاهی است. در پژوهشی که توسط ریجاوک و همکاران (Rijavec and Lapanje, 2016) انجام شد، اثرات تلقیح باکتری‌های تولیدکننده سیانیدهیدروژن به گیاهان در حال جوانه‌زنی نشان داده است که رشد گیاه روی بستر مبتنی بر گرانیت افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از سیانیدهیدروژن و شن و ماسه معدنی می‌تواند باعث انتقال مواد معدنی و آزادسازی فسفات در شرایط آزمایشگاهی توسط سیانید شود.

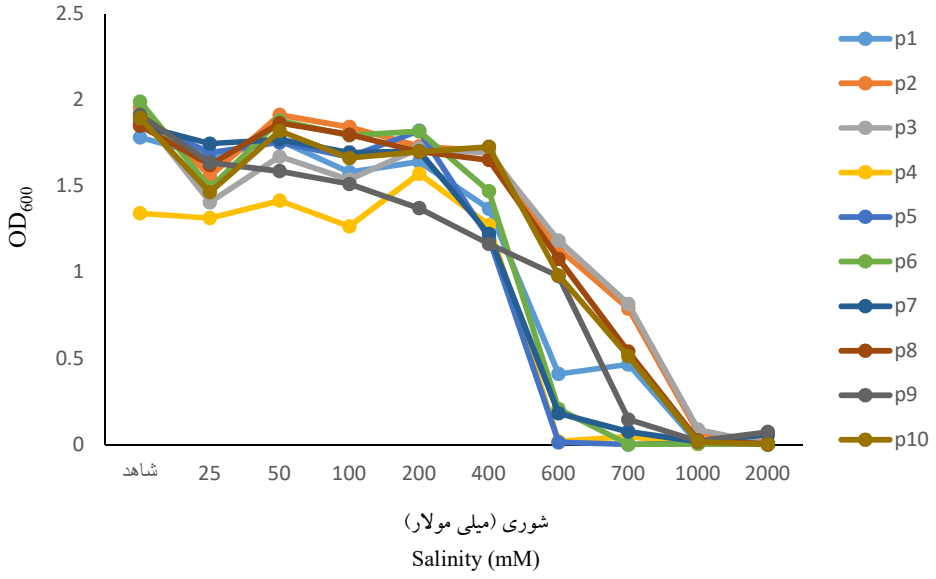
سنجش تولید اکسین جدایه‌ها

براساس نتایج این پژوهش همه جدایه‌ها قادر به تولید اکسین در حضور آمینواسید ال‌تریپتوفان بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین صفات مورد بررسی در جدایه‌ها وجود دارد. براساس نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن (جدول ۲) همه جدایه‌ها قابلیت تولید اکسین در حضور ۵۰ میلی‌گرم ال‌تریپتوفان را داشتند. توانایی تولید اکسین در این پژوهش از حداقل ۰/۶۶ تا ۰/۹۲ میکروگرم در میلی‌لیتر متغیر بود. بیشترین مقدار تولید اکسین (۰/۹۲) مربوط به جدایه P_2 و کمترین مقدار تولید اکسین (۰/۶۶) مربوط به جدایه P_8 بود. تحقیقات نشان داده ا ست که هورمون اکسین تر شح شده از باکتری‌های PGPR با اصلاح شرایط خاصی مانند افزایش محتویات اسمزی سلول، افزایش نفوذپذیری آب به داخل سلول، کاهش فشار دیواره، افزایش سنتز دیواره سلولی و سنتز پروتئین، افزایش طول سلول را تحریک می‌کند. همچنین فعالیت جنین را تقویت و مهار می‌کند، از ریزش برگ‌ها جلوگیری می‌نماید یا ریزش برگ‌ها را به تاخیر می‌اندازد و سبب بهبود گل‌دهی و باردهی گیاه می‌شود (Zhao, 2010). در مطالعه‌ای که توسط داس و همکاران (Das *et al.*, 2019) انجام شد، تاثیر باکتری‌های PGPR تولیدکننده اکسین بر جوانه‌زنی دانه برنج بررسی شد. جدایه‌های منتخب بدلیل تولید هورمون اکسین تاثیر زیادی بر جوانه‌زنی دانه برنج در این مطالعه داشتند.

توانایی تحمل به تنش شوری جدایه‌های باکتری

در پژوهش حاضر میزان تحمل به شوری جدایه‌ها در غلظت های مختلف شوری از طریق تجز یه وار یانس و مقایسه میانگین با روش دانکن بررسی شد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، جدایه‌ها از نظر تحمل غلظت‌های مختلف نمک و میزان رشد متفاوت بود ند و بین جدا یه ها در غلظت‌های شوری ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار در سطح احتمال ۱درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج

حاصل از مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده از اعمال تنش شوری در محیط رشد جدایه‌های مورد مطالعه نشان داد که جدایه‌های مورد بررسی از لحاظ تحمل به شوری و رشد در غلظت‌های مختلف نمک عملکرد متفاوتی از خود نشان دادند (شکل ۱). در غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، جدایه‌های P_2 و P_8 بالاترین تحمل به شوری را داشتند. جدایه P_4 در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، پایین‌ترین درجه تحمل به شوری و سایر جدایه‌ها مقاومت به شوری تقریبا مشابه در این غلظت نشان دادند. در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار جدایه‌های P_1 و P_6 مقاوم‌ترین جدایه‌ها به شوری بودند، در حالی‌که جدایه P_9 پایین‌ترین مقاوت به شوری را از خود نشان داد. جدایه P_4 که در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، پایین‌ترین درجه مقاوت به شوری را از خود نشان داده بود، با افزایش غلظت نمک در تیمار اعمال شده، روند مقاومت آن به شوری نیز افزایش یافت، در نتیجه این مورد می‌تواند به علت پاسخ متابولیکی باکتری به غلظت بالاتر نمک باشد، اگرچه در غلظت‌های بالاتر نمک در تیمار شوری اعمال شده روند مقاومت این جدایه به تنش شوری کاهش یافته است. در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار شوری، جدایه‌های P_3، P_8 و P_{10} از مقاومت بالاتری برخوردار بودند، در حالی‌که سایر جدایه‌ها روند مقاومت به شوری نزولی نشان دادند. در غلظت‌های ۶۰۰ میلی‌مولار و بالاتر، جدایه‌های P_2 و P_3 از مقاومت نسبی بالاتری برخوردار بودند ولی در سایر جدایه‌ها روند مقاومت شدیدا شیب نزولی نشان داده و رشد باکتری‌های مورد مطالعه به حداقل مقدار ممکن رسیده است. با وجود این، جدایه P_1 در غلظت ۷۰۰ میلی‌مولار تیمار شوری، افزایش رشد نشان داده است و به نظر می‌رسد مقاومت این جدایه در این غلظت از شوری بالا است، اگرچه در غلظت‌های ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌مولار روند رشد باکتری و در نتیجه مقاومت آن به تنش شوری کاهش یافته است.



شکل ۱- مقایسه جدایه‌های مختلف از لحاظ تحمل به شوری در غلظت‌های مختلف نمک کلریدسدیم.
جدایه‌های P_1، P_2، P_3، P_8 و P_{10} از لحاظ تحمل به شوری و رشد در غلظت‌های بالاتر نمک (۷۰۰ میلی‌مولار) عملکرد بهتری داشتند.

Figure 1- Screening salinity-tolerant of isolates to different concentrations of sodium chloride salt.
The isolates P_1, P_2, P_3, P_8 and P_{10} showed more tolerant and growth in higher salt concentrations (up to 700 mM).

باکتری‌های محرک رشد گیاه با استفاده از مکانیسم‌هایی شامل همکاری با دیگر میکروارگانیسم‌های خاک، تولید هورمون‌های گیاهی، تولید آنزیم‌های مختلف، افزایش حلالیت مواد مغذی خاک و کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی قادر به کاهش اثرات تنش‌های مختلف بر رشد گیاه هستند (Miransari *et al.*, 2014). میکروارگانیسم‌های هالوفیل برای بقای خود به نمک احتیاج دارند و در سلول‌های خود میزان بالایی از نمک‌های مختلف بویژه کلریدسدیم را نگهداری می‌کنند. این باکتری‌ها در محیط‌های دارای نمک ۵ درصد یا بیشتر به خوبی رشد می‌کنند. در پژوهشی تلقیح باکتری‌های هالوفیل به گیاه بامیه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و بهبود پارامترهای رشدی نسبت به گیاه شاهد شد و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاه تلقیح شده با این باکتری‌ها تحت تنش شوری افزایش یافت (Habib *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای بنده‌حق و همکاران (Bandehagh *et al.*, 2018) گزارش کردند که تحت تنش شوری گیاهان کلزای تلقیح شده با باکتری دارای وزن خشک بالاتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده بودند. در پژوهشی که توسط البرکه و سوهیب (Al-Barakah and Sohaib, 2019) انجام شده است، جهت بررسی پاسخ جوانه‌زنی دانه کینوا به تلقیح باکتری، با استفاده از بسترهای مختلف جوانه‌زنی و چهار سطح شوری صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار مشخص گردید که دانه‌های کینوای تلقیح شده در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار ۶۹ درصد جوانه‌زنی داشتند.

درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی دانه‌های کنجد

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در بررسی اثرات تنش شوری روی گیاهان، بررسی درصد و سرعت جوانه‌زنی در ارتباط با اعمال تنش شوری است. تنش شوری باعث کاهش رشد گیاهچه، کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی و تأخیر در ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه دانه‌های در حال جوانه‌زنی می‌شود و شوری ایجاد شده با نمک کلریدسدیم اثرات منفی بیشتری در گیاهان ایجاد می‌کند (Wahid *et al.*, 2016). براساس نتایج تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه‌زنی در این پژوهش (جدول ۳) جوانه‌زنی دانه‌های کنجد تحت تاثیر شوری و تلقیح با باکتری بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) و اثر اصلی شوری روی سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد ($P < 0.05$). در مجموع درصد جوانه‌زنی رقم اولتان بهتر از رقم داراب بود. با افزایش شوری از میزان جوانه‌زنی دانه‌های کنجد کاسته شد. اثر متقابل تنش شوری- رقم در درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار نشد. اثر متقابل شوری و باکتری روی سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و تلقیح با باکتری (شکل ۲)، تلقیح با جدایه P_9 باعث افزایش تحمل دانه به شوری و بهبود سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری شد که در شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، سرعت جوانه‌زنی در تلقیح با هر سه جدایه نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت که این افزایش سرعت در نمونه‌های تلقیح شده با جدایه P_9 بیشتر بود. در تیمار شوری اعمال شده به جدایه‌های مورد مطالعه در این پژوهش به منظور بررسی توانایی آنها برای رشد در غلظت‌های بالای نمک، جدایه P_9 در مقایسه با سایر جدایه‌ها حداقل رشد در غلظت‌های بالای نمک را از خود نشان داده بود. با وجود این، در مقایسه با دو جدایه P_2 و P_3 این باکتری از کارایی بالاتری برای افزایش سرعت جوانه‌زنی برخوردار است.

در پژوهشی که توسط بیاری و همکاران (Bayari *et al.*, 2009) روی تلقیح دانه ذرت با باکتری انجام شده، وجود رابطه معنی‌دار بین سرعت و درصد جوانه‌زنی گزارش شده است بطوریکه پیش‌تیمار با باکتری باعث کلونیزاسیون ریشه و افزایش سرعت جوانه‌زنی در محیط‌های شور شده و باعث می‌شود دانه‌های گیاه کمتر تحت تاثیر سمیت نمک و کمبود آب قرار بگیرند. بنابراین باعث افزایش بیشتر طول ریشه نسبت به طول ساقه و افزایش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی شده است.

جدول ۳- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر شوری و پیش تیمار باکتریایی بر شاخص‌های جوانه‌زنی دانه کنجد.

Table 3- Analysis of variance (mean square) of salinity and bacterial pretreatment effects on sesame seed germination indices

		میانگین مربعات (MS)								
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ساقه‌چه Shoot length (cm)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Vigor index I	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Vigor index II	ضریب آلومتریک Allometric coefficient
رقم (V) Variety	1	20.785	13.546*	20.40**	0.732**	46.353**	1.286**	8.788**	20.682**	0.000
شوری (S) Salinity	3	236.754**	67.871**	6.246**	0.185**	1.414**	0.187**	6.376**	1.962**	0.009**
باکتری (B) Bacteria	3	20.656*	22.299**	3.696**	0.117**	6.927**	0.468**	2.019*	5.684**	0.008**
V×S	3	0.916ns	2.067	0.123	0.008	0.086**	0.002	0.408	0.061	0.001
V×B	3	9.674	1.314	0.008	2.129**	2.384**	0.359**	0.071**	1.732**	0.005**
B×S	9	5.341	4.462*	0.071**	1.447**	0.630**	0.098**	0.055**	0.354**	0.002*
اشتباه آزمایش Exp. error	9	4.776	1.387	2.948	0.003	3.42	0.008	0.311	0.0194	0.0005
ضریب تغییرات C.V.(%)		2.355	6.345	0.003	0.031	3.462	6.209	10.892	3.859	4.235

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns عدم معنی‌داری.

* and ** significantly at $p < 0.05$ and < 0.01, respectively; ns = non-significant

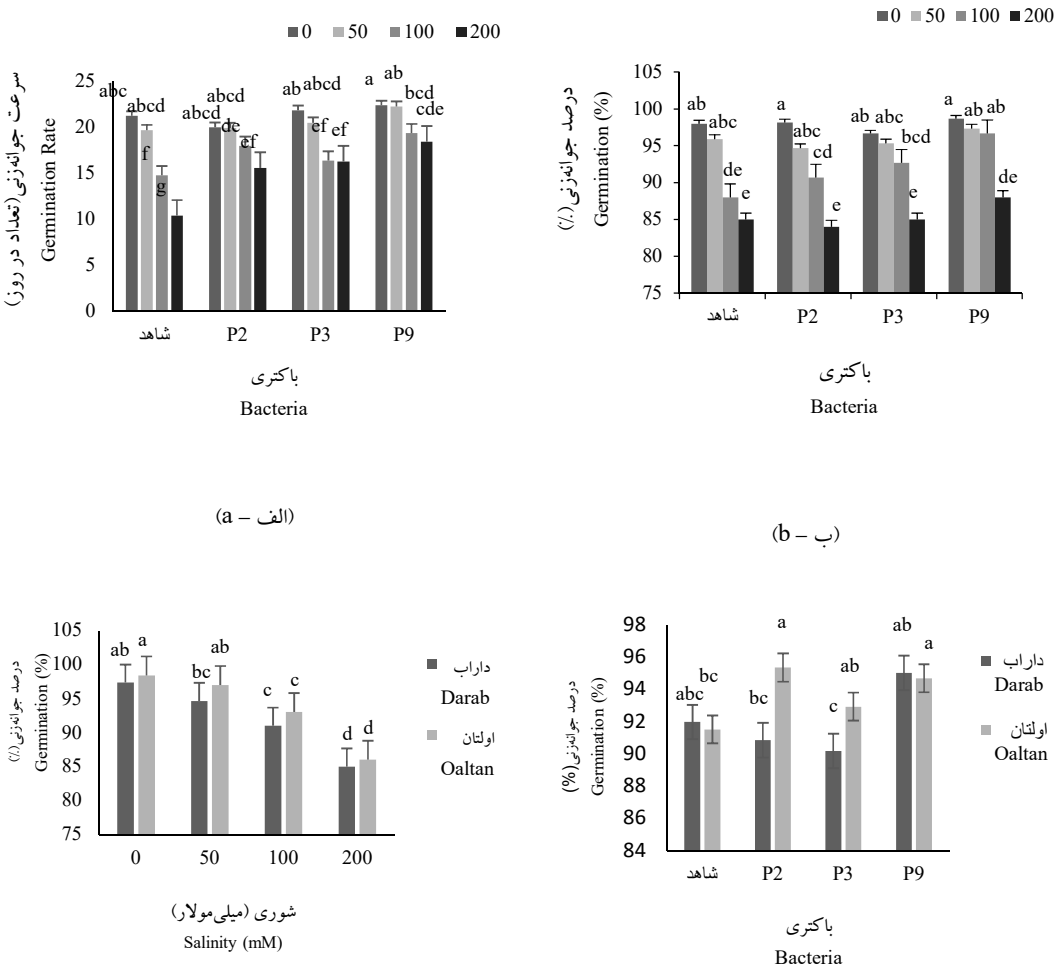
شاخص بنیه وزنی و طولی گیاهچه

شاخص بنیه گیاهچه یکی از شاخص‌های کیفیت دانه است. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر اصلی تنش شوری، باکتری، رقم و اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری در شاخص وزنی و طولی بنیه گیاهچه معنی‌دار گردید. همچنین اثر متقابل تلقیح با باکتری- رقم در شاخص وزنی بنیه گیاهچه معنی‌دار شد. شوری و پیش‌تیمار با باکتری و اثر متقابل آنها روی شاخص وزنی بنیه گیاه معنی‌دار شد ($0.05 < P < 0.01$).

افزایش شاخص بنیه گیاه به دلیل تحریک فیتوهورمون‌ها توسط باکتری‌ها است که این اثر به صورت تغییر در فاکتورهای رشدی دانه از جمله افزایش تعداد ریشه‌های جانبی، افزایش طول و وزن ریشه‌چه و همچنین افزایش شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه است (Shahverdi *et al.*, 2017). در مقایسه میانگین دانکن (شکل ۳)، بالاترین میانگین شاخص بنیه وزنی در بررسی اثر متقابل رقم- باکتری در رقم اولتان تلقیح شده با جدایه P_9 است. بالاترین میزان شاخص وزنی بنیه وزنی تحت تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، در گیاهچه‌های تلقیح شده با جدایه P_9 و جدایه P_3 بود.

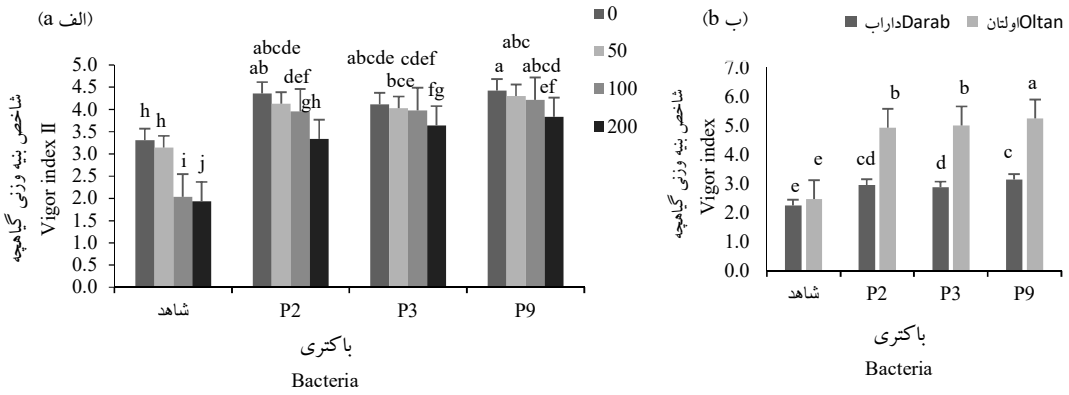
با توجه به بررسی اثر متقابل تلقیح با باکتری و تنش شوری، در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، میانگین شاخص طولی بنیه گیاه تلقیح شده با جدایه P_9 در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار برابر ۵/۲۷۵ بود که نشان‌دهنده اثرات مثبت تلقیح با این جدایه روی افزایش شاخص بنیه طولی گیاهچه است (شکل ۴). براساس نتایج پژوهشی که توسط فتح‌الهی

و همکاران (Fathollahy and Mozaffari, 2020) انجام شـــد، پرایمینگ دانه‌های گندم با باکتری‌های PGPR در مقایســه با تیمار شـاهد، اثرات منفی ناشـی از تنش شـوری روی گیاهچه از طریق بهبود شـــاخص های جوانه‌زنی از جمله شـاخص بنیه گیاه کاهش یافت. باکتری‌های محرک رشـــد تحت شـــرایط تنش شـــوری، تأثیر مثبتی بر برخی پارامترهای گیاه از جمله ســـرعت جوانه‌زنی، تحمل به خشکی ناشی از شوری، رشد و عملکرد و بنیه گیاه دارند. باکتری‌های محرک رشـد با تولید ایندول‌اسـتیک‌اسـید در محیط ریشـــه می‌توانند ســـبب افزایش جوانه‌زنی، تراکم و طول ریشه‌های موئین و بهبود رشد گیاه شوند.



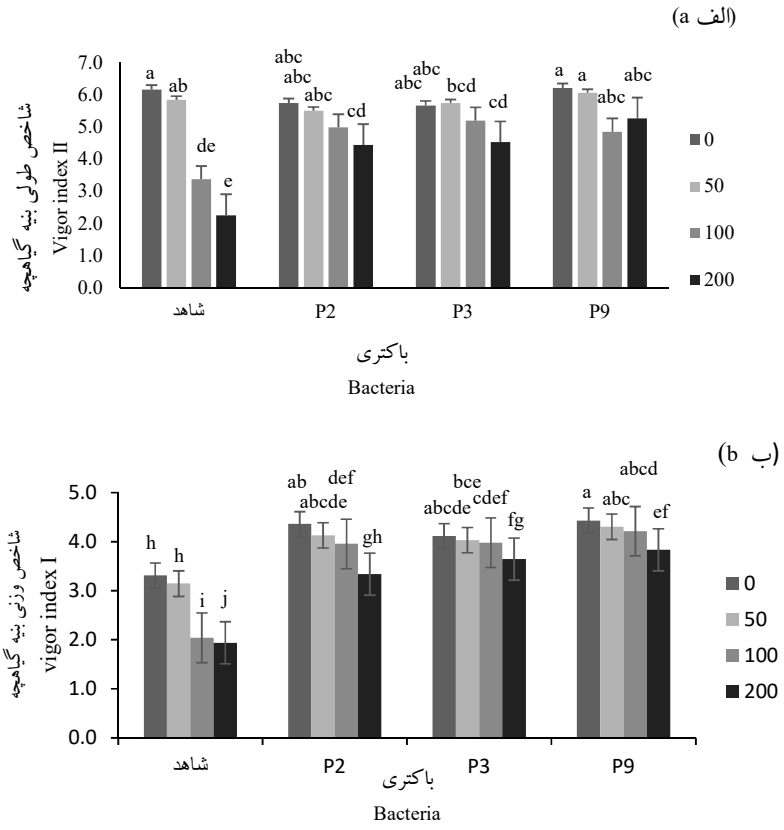
شکل ۲- (الف) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری روی سرعت جوانه‌زنی، (ب) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری روی درصد جوانه‌زنی، (ج) اثر متقابل شوری- رقم روی درصد جوانه‌زنی و (د) اثر متقابل تلقیح با باکتری- رقم روی درصد جوانه‌زنی.

Figure 2- (a) The interaction effect of inoculation with bacteria-salinity on the germination rate, (b) the interaction effect of inoculation with bacteria-salinity on the percentage of germination, (c) the interaction effect of salinity-variety on the percentage of germination and d) Interaction effect of inoculation with bacteria and variety on germination percentage



شکل ۳- (الف) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری روی شاخص بنیه وزنی گیاهچه و (ب) اثر متقابل تلقیح با باکتری- رقم روی شاخص بنیه وزنی گیاهچه.

Figure 3- (a) The interaction effect of bacteria-salinity on the vigor index II and (b) the interaction effect of bacteria-variety on the vigor index II.



شکل ۴- (الف) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری بر شاخص بنیه طولی گیاهچه و (ب) اثر متقابل تلقیح با باکتری- شوری بر شاخص بنیه وزنی گیاهچه.

Figure 4- (a) The interaction effect of bacteria-salinity on the vigor index I and (b) the interaction effect of bacteria-salinity on the vigor index II.

ضریب آلومتریک

اعمال تنش شوری روی دو رقم کنجد باعث افزایش میزان ضریب آلومتریک در هر سه سطح شوری گردید. براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر اصلی شوری، باکتری و اثر متقابل رقم- باکتری بر شاخص ضریب آلومتریک معنی‌دار شد ($P < 0.05$). اثر متقابل شوری- باکتری نیز معنی‌دار شد ($P < 0.01$). اثر اصلی شوری نشان داد با افزایش شوری میزان ضریب آلومتریک افزایش یافت. این افزایش بنابر نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه در محاسبه ضریب آلومتریک، حاکی از افزایش نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه در شرایط شوری است. در رابطه با نقش باکتری‌ها بر جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشد گیاهچه، پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است. این باکتری‌ها به دلیل سنتز هورمون‌هایی مانند جیبرلین و همچنین تولید آنزیم آمیلاز و تجزیه نشاسته سبب بهبود جوانه‌زنی می‌شوند. همچنین سنتز هورمون اکسین نیز باعث افزایش قدرت گیاهچه‌ها می‌شود. نتایج پژوهشی روی گیاه کتان روغنی در پنج سطح شوری و تلقیح با سه جدایه از باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس نشان داد که در ضریب آلومتریک تاثیر منفی تنش شوری روی طول ساقه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه است در واقع این جدایه‌ها احتمالاً از طریق کاهش میزان اتیلن در ریشه‌ها و به دنبال آن کاهش اثرات بازدارندگی آن موجب افزایش رشد گیاه شده‌اند و این تأثیر در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بیشتر مشاهده شد (Shahverdi *et al.*, 2017). کلی و همکاران (Klee *et al.*, 1991) گزارش کردند که باکتری سودوموناس آنزیم آمینوسیکلوپروپان -۱- کربوکسیلات‌دی‌آمیناز تولید می‌کند که بلافاصله آمینو سیکلوپروپان -۱- کربوکسیلات را به پیش‌ماده اتیلن برای ساخت آمونیاک و آلفاکتوبوتیرات تجزیه می‌کند

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاهچه

در این پژوهش براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر اصلی رقم، شوری، باکتری و اثر متقابل شوری- باکتری بر طول ساقه‌چه معنی‌دار بود و برای شاخص طول ریشه‌چه اثر اصلی رقم، شوری و باکتری و اثر متقابل رقم- باکتری و شوری- باکتری معنی‌دار شد ($P < 0.05$). با توجه به مقایسه میانگین (جدول ۴) در اثر متقابل شوری و تلقیح با باکتری، با افزایش شوری، طول ساقه‌چه افزایش یافت و بیشترین افزایش در طول ساقه‌چه در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مربوط به نمونه‌های تلقیح شده با جدایه‌های P_3 و P_9 بود. اعمال تنش شوری به همراه تلقیح با باکتری نشان داد که با افزایش سطح شوری، طول ریشه‌چه دانه‌های تلقیح شده با جدایه P_9 برابر ۲/۷۶۷ و دانه‌های تلقیح شده با جدایه P_3 برابر ۲/۶۸۳ بود که نسبت به نمونه شاهد به ترتیب افزایش ۱۳۳ درصد و ۱۲۶ درصدی داشتند. کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش شوری به دلیل اختلال در انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین است. درواقع اختلال و کاهش در جذب آب در شرایط شوری فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها را کم می‌کند و باعث کاهش رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌شود (Kafi *et al.*, 2005). در این رابطه در پژوهشی که روی تاثیر پرایمینگ دانه یونجه در شرایط تنش شوری توسط یونسی و همکاران (Younesi *et al.*, 2013) انجام شده رقم تلقیح شده با جدایه سودوموناس فلورسنس، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک بالاتری نسبت به شاهد داشته است. در واقع باکتری‌ها از طریق کاهش غلظت اتیلن درون گیاه و تبدیل آن به منابع نیتروژن، باعث طویل شدن ریشه می‌شوند (*Persello-Cartieaux et al., 2003*). پژوهش هایی مبنی بر افزایش تحمل به تنش شوری در اثر استفاده از مایه تلقیح باکتری، که یکی از مکانیسم‌های دخیل در این زمینه توانایی مایه تلقیح میکروبی در تولید هورمون‌های گیاهی است، گزارش شده است. تلقیح گیاهان با باکتری‌هایی که سبب افزایش تولید ACCدآمیناز می‌شوند با کاهش هورمون اتیلن، به گیاه در مقابله با تنش‌های گوناگون مانند غرقابی، ترکیب های سمی معدنی و آلی، غلظت زیاد نمک، خشکی و عوامل بیماری‌زا کمک می‌کنند (Saleem *et al.*, 2007). براساس نتایج پژوهشی که توسط سلطانی علی‌کویی و همکاران (Soltani Alikooyi *et al.*, 2020)

انجام شـــده اســـت، تلقیح دانه‌های گیاه یونجه تحت تنش شـوری با باکتری‌های اسـینتوباکتر، باسـیلوس و انتروباکتر باعث افزایش طول ریشـــه‌چه به دلیل تولید اتیلن و افزایش رشد شد و این افزایش در دانه‌های تلقیح شده با انتروباکتر بیشـتر بود. همچنین با افزایش میزان شـوری و بدون تلقیح باکتری از طول ریشه‌چه کاسته شد.

طول گیاهچه

برا ساس نتایج تجزیه واریانس اثر ا صلی رقم، شوری، تلقیح با باکتری و اثر متقابل رقم- باکتری و شـــوری- باکتری بر طول گیاهچه معنی‌دار شـد ($P < 0.01$). با توجه به مقایســـه میانگین (جدول ۴) اثر اصـــلی تلقیح با باکتری نشـان داد که بیشـترین میزان افزایش طول گیاهچه در رقم داراب، مربوط به تلقیح با جدایه P_9 برابر ۵/۲۷۵ و جدایه P_3 برابر ۵/۲۰۸ بود و نمونه شـــاهد (عدم تلقیح) با میانگین ۴/۷۱۸ کمترین میزان طول گیاهچه را داشـــت. در رقم اولتان بیشـترین طول گیاهچه مربوط به نمونه تلقیح شـده با جدایه P_9 بود. اثر متقابل تلقیح با باکتری در تمام ســـطوح شوری نشان داد که با افزایش میزان شوری از اثرات منفی حاصـل از تنش شـوری روی طول گیاهچه‌های حاصـل از دانه‌های تلقیح شـده کنجد با باکتری کاسـته شـد. بیشـترین میزان طول گیاهچه تحت شـوری ۲۰۰ میلی‌مولار در تلقیح با جدایه P_3 و P_9 مشـاهده شـد. تحقیقات بسـیاری روی اثر تلقیح دانـه بـا بـاکتری‌هـای محرک رشـــد و تـأثیر آنهـا بر شـاخص‌های رشـدی گیاه از جمله طول گیاهچه انجام شـده است. باکتری‌های PGPR با تولید هورمون ایندول‌استیک‌اسید در اطراف خود می‌توانند با تحریک طویل شـدن سـلول‌های گیاهی و تقسـیمات سـلولی باعث افزایش رشـد گیاه، طول گیاهچه، طول سـاقه و ریشـه شـوند (Aris *et al.*, 2011). بهشـتی و همکاران (Beheshti *et al.*, 2000) نشـان دادند که با افزایش ســطح شـوری بدون تلقیح با باکتری، طول گیاهچه در همه ارقام یونجه کاهش یافت و شـوری باعث کاهش طول گیاهچه شـــد. در واقع ارتباط بین تولید سیدروفور با تحریک رشد گیاه و جذب آهن در گونه‌های مختلف گیاه و میکروارگانیســـم‌ها گزارش شـــده اســـت. باکتری‌ها به دلیل داشـتن سیسـتم انتقال آهن III می‌توانند در محیط‌های با غلظت بسـیار کم آهن رشـد کنند. عوامل کلات‌کننده آهن که به عنوان سیدروفور شناخته می‌شوند، آهن III را کلات کرده و با هدایت آن به داخل ســـلول گیاه باعث بهبود فاکتورهای رشـــدی گیاه از جمله طول گیاهچه می‌شـوند (Sharma *et al.*, 2013). این باکتری‌ها با آزاد کردن هورمون‌هایی مثل جیبرلین و اکســـین و با تولید یک سـری آنزیم‌ها، سـنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و تحمل به شـــرایط نامســـاعد، باعث رشـــد و اســـتقرار بهتر گیاهچه می‌شوند (Ahmad *et al.*, 2008).

وزن خشک و وزن تر گیاهچه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر اصـلی شـــوری، رقم و تلقیح با باکتری و اثر متقابل باکتری و شوری و رقم و تلقیح با باکتری در وزن تر و وزن خشـک گیاهچه کنجد معنی‌دار شـــد. همچنین اثر متقابل رقم و شوری در وزن تر گیاهچه معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و تلقیح با باکتری (جدول ۴) نشان داد که با افزایش تنش شـــوری، تلقیح با جدایه‌های باکتریایی موجب افزایش بیشـتر وزن خشـک و تر گیاهچه‌ها شـد. بیشـــترین میزان افزایش وزن خشـــک در شـــوری ۲۰۰ میلی‌مولار و تلقیح با جدایه P_9 بود. مقدار افزایش وزن تر گیاهچه‌های تلقیح شـده با جدایه P_9 (۴/۳۶۵)، با جدایه P_2 (۴/۲۸۵) و با جدایه P_3 (۴/۲۵۳) بود. در پژوهشـی که توسط سلطانی علی‌کویی و همکاران (Soltani Alikooyi *et al.*, 2020) روی گیاه یونجه تحت تنش شوری و تلقیح با جدایه‌های اسینتوباکتر، باسیلوس و انتروباکتر انجام شد، نشـان داد که تلقیح با باکتری باعث افزایش وزن خشـک گیاهچه‌ها شـد. این باکتری‌ها با تثبیت غیر همزیسـتی نیتروژن، محلول کردن عناصـر غذایی، کلات کردن آهن با تولید سـیدروفور و تولید ترکیبات فرار آلی باعث بهبود رشد در شرایط تنش‌های غیرزیستی می‌شوند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم- شوری و رقم- تلقیح با باکتری و اثر متقابل شوری- تلقیح با باکتری روی فاکتورهای طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، وزن تر گیاهچه، طول ریشه و طول ساقه.

Table 4- The interaction effect of variety-salinity, variety-bacteria and salinity-bacteria on seedling length, seedling dry weight, seedling fresh weight, radicle length and shoot length factors.

متغیر ۱ Variable 1	متغیر ۲ Variable 2	طول ساقه‌چه Shoot length (cm)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	گیاهچه وزن تر Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
رقم Variety	شوری Salinity					
داراب (Darab)	0	1.388^{bc}	2.769^{c}	3.369^{d}	1.378^{c}	5.434^{d}
	50	1.371^{c}	2.551^{d}	3.361^{c}	1.361^{c}	5.462^{d}
	100	1.254^{d}	2.223^{ef}	2.898^{d}	1.248^{c}	4.682^{e}
	200	1.184^{d}	2.109^{f}	2.623^{d}	1.170^{c}	4.349^{e}
اولتان (Oltan)	0	1.606^{a}	3.165^{a}	4.902^{a}	1.679^{a}	6.738^{a}
	50	1.591^{a}	3.076^{a}	4.943^{a}	1.656^{a}	6.626^{a}
	100	1.512^{a}	2.813^{b}	4.745^{a}	1.531^{ab}	5.806^{b}
	200	1.344^{b}	2.325^{de}	4.369^{b}	1.424^{b}	5.273^{c}
رقم Variety	باکتری Bacteria					
داراب (Darab)	شاهد Control	1.139^{e}	2.087^{f}	2.396^{c}	1.152^{g}	4.718^{e}
	P_9	1.313^{d}	2.583^{cd}	3.305^{b}	1.338^{de}	5.275^{d}
	P_2	1.437^{c}	2.383^{e}	3.257^{b}	1.284^{ef}	4.725^{e}
	P_3	1.308^{d}	2.700^{bc}	3.193^{b}	1.383^{cd}	5.208^{d}
اولتان (Oltan)	شاهد Control	1.312^{d}	2.372^{de}	2.603^{c}	1.187^{a}	4.718^{e}
	P_9	1.610^{a}	3.175^{a}	5.518^{a}	1.966^{fg}	7.008^{a}
	P_2	1.513^{b}	2.825^{b}	5.464^{a}	1.668^{b}	6.508^{b}
	P_3	1.619^{a}	3.008^{a}	5.373^{a}	1.470^{c}	6.208^{c}

در هر ستون میانگین‌هایی که دار ای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

The mean values with similar superscript letters in a column are not significantly different ($p<0.05$).

Continue of Table 4 ادامه جدول ۴

متغیر ۱ Variable 1	متغیر ۲ Variable 2	طول ساقه‌چه Shoot length (cm)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
شوری Salinity	باکتری Bacteria					
0	شاهد Control	1.472^{abc}	2.987^{a}	3.356^{c}	1.532^{ab}	6.293^{a}
0	P_9	1.313^{c}	2.950^{abc}	4.493^{ab}	1.653^{a}	6.317^{a}
0	P_2	1.572^{a}	2.883^{abc}	4.453^{ab}	1.520^{ab}	5.867^{abcd}
0	P_3	1.308	3.050^{a}	3.193^{b}	1.408^{cd}	5.867^{abcd}
50	شاهد Control	1.312	2.637^{bcd}	2.603^{c}	1.472^{b}	6.093^{ab}
50	P_9	1.610	2.983^{ab}	5.518^{a}	1.665^{a}	6.833^{ab}
50	P_2	1.513	2.733^{bcd}	5.464^{a}	1.482^{b}	5.233^{bcd}
50	P_3	1.472^{bc}	2.900^{abc}	4.348^{ab}	1.415^{b}	6.017^{abc}
100	شاهد Control	1.149^{e}	2.107^{e}	3.301^{d}	0.992^{c}	3.843^{f}
100	P_9	1.465^{c}	2.817^{abcd}	4.358^{ab}	1.647^{a}	6.033^{abc}
100	P_2	1.453^{c}	2.567^{d}	4.335^{ab}	1.490^{b}	5.483^{de}
100	P_3	1.465^{c}	2.783^{abcd}	4.292^{ab}	1.428^{b}	5.617^{cde}
200	شاهد Control	0.839^{f}	1.187^{f}	4.081^{e}	0.682^{c}	2.643^{e}
200	P_9	1.465^{c}	2.767^{abcd}	4.365^{ab}	1.642^{a}	5.983^{abc}
200	P_2	1.313^{d}	2.233^{b}	4.285^{ab}	1.412^{b}	5.283^{bcd}
200	P_3	1.438^{c}	2.683^{cd}	4.253^{b}	1.453^{b}	5.333^{bc}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

The mean values with similar superscript letters in a column are not significantly different ($p<0.05$).

افزایش معنی‌دار میزان نیتروژن گیاه با تلقیح با PGPR در گیاهان مختلف مانند پنبه، گندم، نیشکر و ذرت گزارش شده است (Calvo *et al.*, 2014). در بررسی اثر پیش تیمار باکتری‌های محرک رشد روی شاخص‌های جوانه‌زنی گندم نان تحت تنش شوری توسط فتح‌الهی و مظفری (Fathollahy and Mozaffari, 2020) مشخص شد که تلقیح با باکتری در گیاهان تحت تنش شوری باعث افزایش وزن خشک و وزن تر گیاهچه‌ها شد. افزایش حلالیت سایر عناصر غذایی توسط مایه‌های تلقیح باکتریایی گزارش شده است که این مکانسیم‌ها مربوط به افزایش زیست توده ریشه، سطح ریشه یا تارهای کشنده ریشه، مکانیسمی غیرمستقیم است که سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. دامنه وسیعی از میکروارگانیسم‌های خاک شامل سودوموناس‌ها، باسیلوس‌ها و آربسکیولار مایکوریزا سبب افزایش جذب روی، مس، منگنز، کلسیم، منیزیم و گوگرد می‌شوند (Calvo *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای که توسط غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2009) روی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری انجام شده است جدایه‌های باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد اثرات نامطلوب شوری را کاهش داده و وزن تر و خشک گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند. پژوهشگران اثر این جدایه‌ها را به توانایی آنها در تولید ACCدآمیناز و در نتیجه کاهش تولید اتیلن نسبت داده‌اند. بطورکلی هنگام بروز تنش شوری به دلیل تجمع املاح نمکی در محیط فعالیت ریشه گیاه، امکان توسعه ریشه‌های مویین و اصلی از گیاه گرفته می‌شود، در نتیجه گیاه مجبور است سطح بالایی از انرژی ذخیره شده برای توسعه اندام‌های زایشی را به مسیرهای متابولیسمی درگیر در پاسخ به تنش شوری اختصاص دهد. در این حالت سطح زیست توده تولیدی گیاه بصورت چشمگیری کاهش پیدا می‌کند و در نهایت عملکرد گیاه نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، استفاده از باکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه در خاک‌های کشاورزی می‌تواند به عنوان یک مکمل زیستی در حفاظت از خاک، حفظ پایداری مواد غذایی خاک، کاهش سمیت املاح یونی و پویایی رشد گیاهان زراعی در هنگام مواجه با تنش‌های غیرزیستی عمل نماید (Bharti *et al.*, 2015). اثرات فیزیولوژیکی باکتری‌های محرک رشد، متنوع است. این باکتری‌ها می‌توانند به طور مستقیم بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاه اثر بگذارند. باکتری‌های محرک رشد به روش‌های مختلفی سبب افزایش رشد و توسعه گیاه طی چرخه رشد از جوانه‌زنی دانه تا بلوغ، می‌شوند. این روش‌ها شامل افزایش کارایی متابولیسم گیاه در راستای بهبود عملکرد و کیفیت محصول، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی، تسهیل جذب، انتقال و استفاده از عناصر غذایی، افزایش کارایی مصرف آب، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد میکروارگانیسم‌های خاک هستند. آنها معمولاً همراه با کودهای رایج به گیاه داده می‌شوند تا کارایی مصرف کود را افزایش دهند، ولی با کودها تفاوت دارند زیرا بر متابولیسم گیاه اثر گذاشته و میزان عناصر غذایی در آنها ناچیز است (Calvo *et al.*, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش ۱۰ جدایه باکتری سودوموناس فلورسنس از نظر صفات مختلف شامل توانایی انحلال فسفات، تولید سیدروفور، تولید سیانیدهیدروژن، میزان تحرک، رنگ‌آمیزی گرم، قابلیت انحلال فسفر در محیط جامد، میزان فرآورده ناشی از متابولیسم گلوکز و تولید اسید، تولید کاتالاز، تولید آنزیم سیتراتاز، هیدرولیز اوره و ویژگی فلورسنتی مورد بررسی قرار گرفتند. جدایه‌های P_1، P_2، P_3، P_8 و P_{10} تحمل به شوری بالایی در غلظت‌های بالای نمک (۷۰۰ میلی مولار) داشتند و در انحلال فسفات و تولید سیدروفور، اکسین و سیانیدهیدروژن نتایج خوبی از خود نشان دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این جدایه‌ها پتانسیل بالایی برای افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری دارند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش انتظار

می‌رود این باکتری ها در هنگام تنش از افزایش غلظت اتیلن جلوگیری و باعث کاهش اثرات منفی این هورمون روی ریشه گیاه شوند. همچنین این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های مختلف، تولید عناصر غذایی، تثبیت نیتروژن و انحلال فلزات نامحلول بوسیله سیدروفور باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی، تنش شوری و تنش دمایی شوند. براساس نتایج این پژوهش، باکتری‌های سودوموناس فلورسنس (P_2، P_3 و P_9) باعث تحریک جوانه‌زنی دانه کنجد و ایجاد تحمل به تنش شوری در این گیاه می‌شوند. اعمال تنش شوری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، کاهش شاخص بنیه طولی و وزنی، کاهش طول گیاهچه، افزایش ضریب آلومتریک، کاهش وزن خشک و وزن تر گیاهچه کنجد گردید. با تلقیح باکتری‌ها، آثار شوری روی صفات مورد بررسی کاهش یافت. اگرچه در ارزیابی آزمایشگاهی توانایی تحمل جدایه P_9 به تنش شوری کمتر از جدایه‌های P_2 و P_3 بود، اما در عمل این جدایه عملکرد بهتری در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش داشت و سبب افزایش میزان و سرعت سبز شدن دانه، افزایش شاخص‌های بنیه و افزایش طول گیاهچه شد. همچنین بین دو رقم داراب و اولتان، رقم اولتان عملکرد بهتری در سرعت و درصد جوانه‌زنی و تحمل به شوری داشت. بنابراین باکتری‌های مورد استفاده به ویژه جدایه P_9 می‌توانند در بهبود جوانه‌زنی کنجد و افزایش رشد آن تحت تنش شوری موثر باشند و در مطالعات بیشتر برای سایر گیاهان و تنش‌ها مورد استفاده قرار گیرند. همچنین پیشنهاد می شود قبل از معرفی جدایه‌های PGPR به عنوان تعدیل کننده‌های تنش شوری بر مبنای نتایج بدست آمده از ارزیابی های آزمایشگاهی، با استفاده از آزمایش های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای چند مرحله‌ای کارایی این باکتری‌ها سنجیده شود تا بتوان بهترین جدایه تحریک کننده رشد را برای استفاده در مقیاس وسیع انتخاب نمود.

قدردانی

بدینوسیله از حمایت مالی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) در انجام این پژوهش قدردانی می‌شود. همچنین نگارندگان از تلاش داوران گرامی این مقاله که با نظرات کاربردی و سازنده خود سطح کیفی و علمی مقاله را بهبود بخشیدند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

Reference

Abbas, Z. R., A. M. M. Al-Ezee, and S. H. Authman. **2019**. Sidrophore Production and Phosphate Solubilization by *Bacillus* cereus and *Pseudomonas fluorescens* Isolated from Iraqi Soils and Soil Characterization. Int. J. Pharm. Clin. Res. 10(01): 74-79. DOI: 10.25258/ijpqa.10.1.12.

Ahmad, F., I. Ahmad, and M. Khan. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiol. Res. 163(2): 173-181. DOI: 10.1016/j.micres.2006.04.001.

Al-Barakah, F. N, and M. Sohaib. 2019. Evaluating the germination response of Chenopodium quinoa seeds to bacterial inoculation under different germination media and salinity conditions. Seed Sci. Technol. 47(2): 161-169.DOI: h10.15258/sst.2019.47.2.05.

A Tri Wahyudi, R Puji Astuti, A Widyawati, and A Meryandini 2011. Characterization of Bacillus sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria. J. Microbiol. Antimicrob. 3(2): 34-40.

Ashraf, M., S. M. Shahzad, M. Imtiaz, and M. S. Rizwan. **2018**. Salinity effects on nitrogen metabolism in plants–focusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: A review. J. Plant Nutr. 41(8): 1065-1081. DOI: 10.1080/01904167.2018.1431670.

Azhar, M., V. Uniyal, N. Chauhan, and D. S. Rawat. **2014**. Isolation and biochemical characterization of Halophiles from Sahastradhara region, Dehradun, India. Int. J. Curr. Microb. Appl. Sci. 3: 753-760.

Bandehagh, A., M. Toorchi, D. Farajzadeh, Z. Dehganian, and S. Pirzad. **2018**. Effect of Pseudomonas flourescens FY32 bacteria on leaf proteome pattern of rapeseed under salinity stress. J Genet. Eng. Biosafety. 20-216-3. DOR: 20.1001.1.25885073.1397.7.2.8.9. (In Persian)

Bayari, A., S. Nezarat, and A. Gholami. 2009. Relationship between germination index of seed corn with inoculation of PGPR (Pseudomonas, Azospirillium and Azotobacter). 11th Soil Science Congr. Iran, Gorgan. 12 Jul. 2009. (In Persian)

Beheshti, A., H. Tavakoli, and A. Koocheki. **2000**. The effect of salt stress and temperature on germination of different alfalfa cultivars. Agric. Sci. Technol. DOI: 10.5555/20000712406. (In Persian)

Bergey, D. H. (1994). Bergey's manual of determinative bacteriology, Lippincott Williams & Wilkins.

Bharti, N., D. Barnawal, D. Maji, and A. Kalra. **2015**. Halotolerant PGPRs prevent major shifts in indigenous microbial community structure under salinity stress. Microb. Ecol. 70(1): 196-208. DOI: 10.1007/s00248-014-0557-4.

Biswas, J. K., A. Banerjee, M. Rai, R. Naidu, B. Biswas, M. Vithanage, M. C. Dash, S. K. Sarkar, and E. Meers. **2018**. Potential application of selected metal resistant phosphate solubilizing bacteria isolated from the gut of earthworm (Metaphire posthuma) in plant growth promotion. Geoderma. 330: 117-124. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.05.034.

Calvo, P., L. Nelson, and J. W. Kloepper. **2014**. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil. 383: 3-41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8.

Daneshvar, M., M. Maleki, S. Shakeri, and A. Baghizadeh. **2020**. Screening and identification of Iranian native phosphate solubilizing bacteria and investigation of their genetic diversity using RAPD markers. Nova Biologica Reperta. 6(4): 402-414. DOI: 10.29252/nbr.6.4.402. (In Persian)

Das, S., T. R. Nurunnabi, R. Parveen, A. N. Mou, M. E. Islam, K. M. D. Islam, and S. Rahman. **2019**. Isolation and characterization of indole acetic acid producing bacteria from rhizosphere soil and their effect on seed germination. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 8(3): 1237-1245. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.803.146.

Egamberdieva, D., K. Davranov, S. Wirth, A. Hashem, and E. F. Abd_Allah. **2017**. Impact of soil salinity on the plant-growth–promoting and biological control abilities of root associated bacteria. Saudi J. Biol. Sci. 24(7): 1601-1608. DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.07.004.

Fathollahy. S, and A. Mozaffari. **2020**. Investigation the Effect of Seed Biopriming with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Antioxidant Enzymes Activity of Seedling and Germination Indices of Two Wheat Cultivar under Salt Stress Conditions. Seed Sci. Technol. 9(1): 27-44. DOI: 10.22034/ijsst.2018.122519.1215. (In Persian)

Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. **2009**. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. Int. J. Agric. Bios. Eng. 3(1): 9-14.
(In Persian)

Gregersen, T. 1978. Rapid method for distinction of Gram-negative from Gram-positive bacteria. Eur. J. Appl. Microbiol. 5(2): 123-127. DOI: 10.1007/BF00498806.

Guerrieri, M. C., E. Fanfoni, A. Fiorini, M. Trevisan, and E. Puglisi. 2020. Isolation and screening of extracellular PGPR from the rhizosphere of tomato plants after long-term reduced tillage and cover crops. Plants. 9(5): 668. DOI: 10.3390/plants9050668.

Habib, S. H., H. Kausar, and H. M. Saud. **2016**. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance salinity stress tolerance in okra through ROS-scavenging enzymes. Biomed Res. DOI: 10.1155/2016/6284547.

Hamidi, A., A. Asgharzadeh, A. Ahmadi, S. Akbari Vala, and R. Choukan. **2021**. Effect of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) and Mycorrhizae Fungi on three Maize (Zea mays L.) hybrids some seed germination and seedling vigour trait. J. Sustain. Agric. Sci. 31(3): 149-167. (In Persian)

Jiang, H., T. Wang, X. Chi, M. Wang, N. Chen, M. Chen, L. Pan, and P. Qi. **2020**. Isolation and characterization of halotolerant phosphate solubilizing bacteria naturally colonizing the peanut rhizosphere in salt-affected soil. Geomicrobiol. J. 37(2): 110-118. DOI: 10.1080/01490451.2019.1666195.

Kafi, F. M., A. Nezami, H. Hosseini, and A. Masoumi. **2005**. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (Lens culinaris Medik.) genotypes. Iranian J. Field Crops Res. 3(1): 69-80. DOI: 10.22067/GSC.V3I1.1293. (In Persian)

Khalifa, A., A. Metwally, R. B. Ammar, and F. A. Farghaly. **2020**. ACC Deaminase-containing rhizobacteria from rhizosphere of Zygophyllum coccineum alleviate salt stress impact on wheat (Triticum aestivum L.). Sci. J. King Faisal Univ. Basic Appl. Sci. 21: 89-102. DOI: 10.37575/b/agr/1988.

Khanna, K., V. L. Jamwal, A. Sharma, S. G. Gandhi, P. Ohri, R. Bhardwaj, A. A. Al-Huqail, M. H. Siddiqui, H. M. Ali, and P. Ahmad. **2019**. Supplementation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) alleviates cadmium toxicity in Solanum lycopersicum by modulating the expression of secondary metabolites. Chemosphere. 230: 628-639. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.072.

Klee, H. J., M. B. Hayford, K. A. Kretzmer, G. F. Barry, and G. M. Kishore. **1991**. Control of ethylene synthesis by expression of a bacterial enzyme in transgenic tomato plants. The Plant Cell. 3(11): 1187-1193. DOI: 10.1105/tpc.3.11.1187.

Li, H., Y. Qiu, T. Yao, Y. Ma, H. Zhang, and X. Yang. **2020**. Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of Avena sativa, Medicago sativa, and Cucumis sativus seedlings. Soil Tillage Res. 199: 104577. DOI: 10.1016/j.still.2020.104577.

Mahlooji, M. 2021. Effect of saline water irrigation and foliar application of maternal plant on germination characteristics of three barley cultivars. Crop Sci. Res. Arid Reg. 2-188-179. DOI: 10.22034/CSRAR.2021.262104.1072. (In Persian)

Manasa, K., S. Reddy, and S. Triveni. **2017**. Characterization of potential PGPR and antagonistic activities of Rhizobium isolates from different rhizosphere soils. J. Pharmacogn Phytochem. 6(3): 51-54.

Marakana, T., M. Sharma, and K. Sangani. **2018.** Isolation and characterization of halotolerant bacteria and it's effects on wheat plant as PGPR. The Pharma Innov. J. 7: 102-110.

Miransari, M., A. Abrishamchi, K. Khoshbakht, and V. Niknam. **2014**. Plant hormones as signals in arbuscular mycorrhizal symbiosis. Crit. Rev. Biotechnol. . 34(2): 123-133. DOI: 10.3109/07388551.2012.731684. (In Persian)

Moravej, R., S. M. Alavi, M. Azin, and A. H. Salmanian. **2019**. Production of xanthan gum by the native strain of Xanthmonas citri in whey medium and evaluation of its physicochemical properties. Biol. J. Microorganism. 8(30): 69-79. DOI: 10.22108/BJM.2019.115766.1185. (In Persian)

Mostafavi, K, and A. Heidarian. **2021**. Effects of different salinity levels on germination indices in four sunflower varieties. Environ Stress Crop Sci. 14(3): 1-15. (In Persian)

Mousa, W. K., C. R. Shearer, V. Limay-Rios, T. Zhou, and M. N. Raizada. **2015**. Bacterial endophytes from wild maize suppress Fusarium graminearum in modern maize and inhibit mycotoxin accumulation. Front. Plant Sci. 6: 805. DOI: 10.3389/fpls.2015.00805.

Padikasan, I. A., K. Chinnannan, S. Kumar, and G. Subramaniyan (2018). Agricultural biotechnology: engineering plants for improved productivity and quality. Pp 87-104. In D. Barh and V. Azevedo(eds.). Omics Technologies and Bio-Engineering: Towards Improving Quality of Life. Elsevier, London. DOI: 10.1016/B978-0-12-815870-8.00006-1.

Persello-Cartieaux, F., L. Nussaume, and C. Robaglia. **2003**. Tales from the underground: molecular plant–rhizobacteria interactions. Plant Cell Environ. 26(2): 189-199. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.00956.x.

Piri, R. 2018. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobactria (PGPR) on some germination, biochemical indices and element contents of fennel (Foeniculum vulgare L.) under salinity stress. Iran. J. Field Crops Res. 49(3): 159-161. (In Persian)

Purru, S., S. Sahu, S. Rai, A. Rao, and K. Bhat. **2018**. GinMicrosatDb: a genome-wide microsatellite markers database for sesame (Sesamum indicum L.). Physiol Mol Biol Plants. 24(5): 929-937. DOI: 10.1007/s12298-018-0558-8.

Rijavec, T, and A. Lapanje. **2016**. Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens, but rather regulating availability of phosphate. Front. Microbiol. . 7: 1785. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01785.

Safdarian, M., H. Askari, M. Soltani, and G. Nematzadeh. **2017**. Identification of halophile bacteria from salt deserts of Iran and study some of their physiological traits. Biol J Microorganism. 6(22): 45-57 (In Persian)

Saleem, M., M. Arshad, S. Hussain, and A. S. Bhatti. **2007**. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 34(10): 635-648. DOI: 10.1007/s10295-007-0240-6.

Schaad, N. W., J. B. Jones, and W. Chun (2001). Laboratory guide for the identification of plant pathogenic bacteria, American Phytopathological Society (APS Press). U.S. DOI: 10.5555/20013064240.

Schwyn, B., and J. Neilands. **1987**. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. Anal. Biochem. 160(1): 47-56. DOI: 10.1016/0003-2697(87)90612-9.

Shahverdi, M., H. Somagh, B. Mamivand, S. Habibipour, and M. Hemati. **2017**. Effect of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components of flaxseed (Linum usitatisimum L.) under salinity stress. Iranian J. Seed Res. DOI: 10.5555/20219901248. (In Persian)

Sharma, A., D. Shankhdhar, and S. Shankhdhar. **2013**. Enhancing grain iron content of rice by the application of plant growth promoting rhizobacteria. Plant Soil Environ. 59(2): 89-94. DOI: 10.5555/20133097938.

Soltani Alikooyi, M., A. Abbasi Surki, M. Mobini Dehkordi, and S. Kiyani. **2020**. Effects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Germination and Early Growth of Alfalfa (Medicago sativa) under Salt Stress Conditions. Iranian J. Seed Res. 6(2): 1-14. DOI: 10.29252/yujs.6.2.1. (In Persian)

Stassinos, P. M., M. Rossi, I. Borromeo, C. Capo, S. Beninati, and C. Forni. **2022**. Amelioration of salt stress tolerance in rapeseed (Brassica napus) cultivars by seed inoculation with Arthrobacter globiformis. Plant Biosyst. 156(2): 370-383. DOI: 10.1080/11263504.2020.1857872.

Sudewi, S., A. Ala, B. Patandjengi, M. BDR, and A. Rahim. **2020**. Scereening of Plant Growth Promotion Rhizobacteria (PGPR) to increase local aromatic rice plant growth. Int. J. Pharm. Res. DOI: 10.31838/ijpr/2021.13.01.151.

Tahmasbi, F., A. Lakzian, K. Khavazi, and A. Pakdin Parizi. **2014**. Isolation, identification and evaluation of sidrophore production in Pseudomonas bacteria and its effect on hydroponically grown corn. Cell Mol. Res. 27(1): 75-86. DOR: 20.1001.1.23832738.1393.27.1.8.6. (In Persian)

Wahid, A., M. Farooq, S. M. Basra, E. Rasul, and K. H. Siddique. 2010. Germination of seeds and propagules under salt stress. Pp 321-337. In M. Pessarakli(ed.). Handbook of Plant and Crop Stress, Third Ed. Taylor and Francis, Boca Raton, U.S.

Wang, W., Z. Wu, Y. He, Y. Huang, X. Li, and B.-C. Ye. **2018**. Plant growth promotion and alleviation of salinity stress in Capsicum annuum L. by Bacillus isolated from saline soil in Xinjiang. Ecotoxicol. Environ. Saf. 164: 520-529. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.08.070.

Yaish, M. W., I. Antony, and B. R. Glick. **2015**. Isolation and characterization of endophytic plant growth-promoting bacteria from date palm tree (Phoenix dactylifera L.) and their potential role in salinity tolerance. Antonie Van Leeuwenhoek. 107(6): 1519-1532. DOI: 10.1007/s10482-015-0445-z.

Younesi, O., K. Poustini, M. R. Chaichi, and A. A. Pourbabaie. **2013**. Effect of growth promoting rhizobacteria on germination and early growth of two alfalfa cultivars under salinity stress condition. J. Crop Improv. 14(2): 83-97. DOI: 10.22059/jci.2013.29503. (In Persian)

Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. Annu. Rev. Plant Biol. 61: 49-64. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112308.