Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 2, Summer 2022 (423-438)
DOI: 10.22059/ijhs.2021.322320.1919

علوم باغبانی ایران
دورۀ ۵۳، شمارۀ ۲، تابستان ۱۴۰۱ (ص ۴۳۸-۴۲۳)

نشریه پژوهشی:

اثر باکتری‌های محرک رشد در مقاومت به تنش شوری گیاه کلم زینتی رقم کاموم (*Brassica oleraceae* L.)

میترا اعلایی[1*]، فهیمه صالحی[2]، مرتضی بهرامی[3] و محسن ثانی خانی[4]
۱، ۲، ۳ و ٤. دانشیار، دانشجوی دکتری، کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
کد پستی: ٤٥٣٧١-٣٨٧٩١
(تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۲/۳ - تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/٦/۱۵)

چکیده

به منظور مطالعه تأثیر باکتری‌ها بر خصوصیات مورفولوژی و بیوشیمی کلم زینتی تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل شوری در سه سطح (٤ و ۸ دسی زیمنس بر متر و شاهد (عدم شوری) و باکتری‌های محرک رشد در سه سطح (عدم تلقیح، *Pseudomonas putida* و *Bacillus subtilis*) بودند. صفات رویشی گیاه شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک بوته و ریشه، با افزایش میزان تنش شوری، کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد به‌خصوص سودوموناس پوتیدا، موجب بهبود این صفات گردید. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل با افزایش شوری، افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان فنل و آنتی‌اکسیدان در تیمار ۸ دسی زیمنس بر متر (به ترتیب ۱/۰۸ mg/g FW و ٦۲/۵۲μmol/g FW) مشاهده شد. از طرف دیگر استفاده از باکتری باسیلوس توانست میزان فنل کل و آنتی‌اکسیدان را در تقابل با شوری افزایش دهد (۱/۰۸mg/g FW و ٦۲/۷۸μmol/g FW). میزان پرولین برگ نیز، از یک روند افزایشی در سطوح مختلف تنش شوری برخوردار بود و بیش‌ترین میزان آن در بالاترین سطح تنش شوری و کاربرد باکتری باسیلوس سوبتیلیس مشاهده گردید. اثر متقابل باکتری و تنش شوری، تجمع عنصر سدیم را کاهش و موجب افزایش میزان عنصر پتاسیم گردید. نتایج این آزمایش نشان داد باکتری‌های محرک رشد، به‌خصوص باکتری سودوموناس پوتیدا موجب کاهش خسارت ناشی از تنش شوری در گیاه کلم زینتی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: باسیلوس سوبتیلیس، پرولین، تنش شوری، سودوموناس پوتیدا.

Effects of plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L. cv. Kamome)

Mitra Aelaei[1], Fahimeh Salehi[2], Morteza Bahrami[3] and Mohsen Sanikhani[4]
1, 2, 3, 4. Associate Professor, Ph. D. Student, M. Sc. and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Postal Code: 45371-38791.
(Received: May 20, 2021 - Accepted: Sept. 06, 2021)

ABSTRACT

In order to study the morphologies and biochemistry of ornamental cabbage under salt stress, a factorial experiment was carried out based on completely randomized design in three replications. The treatments included salinity at three levels (4 and 8 $dS.m^{-1}$ and control (no salinity) and growth stimulating bacteria at three levels (no inoculation *Pseudomonas putida* and *Bacillus subtilis*). Plant growth characteristics, including plant height, number of leaves, fresh and dry weight of leaves, fresh and dry weight of plant and root, showed a significant decrease compared to the control treatment with increasing salinity stress, and inoculation with growth-promoting bacteria, especially *Pseudomonas putida*, improved these attributes. Antioxidant activity and total phenol increased with increasing salinity, so that the highest amount of phenol and antioxidant was observed at treatment 8 dS/m (1.08 mg/g FW and 62.52 µmol/g FW, respectively). On the other hand, the use of *Bacillus* bacteria could increase the amount of total phenol and antioxidants in contrast with salinity (1.08 mg/g FW and 62.78 µmol/g FW). The amount of proline in leaves also had an increasing trend at different levels of salinity stress, and its highest level was observed at the highest level of salinity stress and the application of *Bacillus subtilis* bacteria. The interaction between bacteria and salinity stress reduced the accumulation of sodium element and increased the amount of potassium element. The results of this experiment showed that growth-promoting bacteria, especially *Pseudomonas putida* bacteria, reduce the damage caused by salt stress in ornamental cabbage plants.

Keywords: *Bacillus subtilis*, proline, *Pseudomonas putida*, salinity stress.

* Corresponding author E-mail: mitraaelaei@gmail.com

مقدمه

کلم زینتی با نام علمی *Brassica oleraceae* L. از خانواده شب‌بو به دلیل برگ‌های رنگی و زیبایی و همین‌طور داشتن اندام‌های هوایی بادوام و مقاومت خوب به شرایط بد محیطی به عنوان یکی از گیاهان زینتی در فضای سبز بیشتر شهرها کاربرد دارد. کلم زینتی گیاهی دو ساله است ولی به عنوان گیاه یکساله استفاده می‌شود (Taqi Zedah and Solgi, 2014). این گیاه به تنش‌های مختلف مقاوم است و از معدود گیاهان قابل استفاده در طراحی فضای سبز در فصل زمستان است (Ghasemi Ghahsare & Membini, 2015). شوری، یکی از تنش‌های اصلی و عمده محدودکننده رشد گیاهان در جهان می‌باشد که به دلیل حضور بیش از اندازه‌ی نمک‌ها و عناصر معدنی خاک که در آب محلول بوده رخ می‌دهد و منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه‌ی گیاه می‌گردند، لذا گیاه در جذب آب کافی از محلول خاک با مشکل رو به رو می‌شود. شوری با ایجاد تنش اسمزی، سمیت یون و اختلالات تغذیه‌ای و یا ترکیبی از این عوامل بر متابولیسم و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاهان مانند فتوسنتز، تنفس، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها و رنگدانه‌ها تاثیر می‌گذارد (Parihar, 2015). طبق آزمایش صورت گرفته روی گیاه شیشه شور (*Callistemon citrinus*) مشاهده شد که استفاده از آب شور، رشد قسمت هوایی این گیاه را کاهش داد و نسبت ریشه به شاخساره و همینطور قطر ریشه و تراکم ریشه افزایش یافت (Alvarez *et al*., 2014). به طور کلی از جمله عواملی که در رشد گیاهان نقش کلیدی دارد کیفیت خاک می‌باشد کیفیت خاک نه تنها به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن وابسته است بلکه ارتباط بسیار نزدیکی با خصوصیات زیستی آن دارد به همین دلیل امروزه کودهای بیولوژیک به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند، این کودها در حقیقت شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی هستند که به ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) معروفند. این موجودات می‌توانند روی تجزیه مواد آلی، تحمل گیاهان در برابر تنش‌ها، عملکرد گیاه، متابولیسم و فرآیندهای سلولی و بیوسنتز گیاه، ساختار و آلاینده‌های خاک (به وسیله جداسازی فلزات سنگین و سمی)، رشد ریشه، سطح تنظیم‌کننده‌های گیاهی مانند اکسین، اتیلن، جیبرلین و سیتوکینین تاثیر داشته باشد، همچنین روی انحلال‌پذیری عناصری مانند Fe و P، تثبیت نیتروژن، سنتز ویتامین‌ها، مقاومت یا تحمل در برابر عوامل بیماریزا و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان می‌توانند اثر بگذارند (Patel, 2018). آزمایشی که بر روی برنج صورت گرفت نیز نشان داد که *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس پوتیدا* میزان جذب مواد مغذی این گیاه را افزایش دادند (Yadav *et al*., 2019). همچنین گزارش شده است که سودوموناس پوتیدا و باسیلوس باعث افزایش جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم در نخود و گوجه فرنگی می‌شوند (Israr *et al*., 2016; Xiaohuiet *et al*. 2017). گزارشی بر روی گیاه فلفل نشان داد که کاربرد باکتری محرک رشد باعث افزایش صفات رویشی همین‌طور افزیش مقدار پرولین و مواد جامد محلول در شرایط تنش شوری در این گیاه شد به عبارتی تلقیح گیاه فلفل با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند اثر مضر تنش شوری بر گیاه را کاهش دهد (Hahm *et al*., 2017). طبق آزمایشی که بر روی توانایی تحمل به تنش نهال‌های سرو خمره‌ای (*Platycladus orientalis*) صورت گرفت مشاهده شد که در آن نهال‌ها با باکتری‌های باسیلوس سوبتیلیس تلقیح شدند و با تولید سیتوکنین منجر به مقاومت در برابر تنش شدند (Liu *et al*., 2013). از آن‌جایی که یکی از عوامل محدودکننده توسعه فضای سبز شهری آب‌های شور می‌باشند و چون در ایران بخش بزرگی از خاک‌ها و حجم چشمگیری از کل منابع آبی متاثر از سطوح مختلف شوری هستند و گیاه کلم زینتی در برابر شرایط و تنش‌های مختلف، گیاهی مقاوم می‌باشد. در این راستا آزمایشی با هدف بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر میزان مقاومت گیاه کلم زینتی رقم کاموم در شرایط تنش شوری و تاثیر آن بر روی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک این گیاه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر صفات رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کلم زینتی رقم کاموم (پیچ‌دار) تحت تنش شوری(سدیم کلراید) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. فاکتور اول شامل دو سطح شوری (۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر) و شاهد به همراه فاکتور دوم شامل سه سطح از باکتری‌های محرک رشد (عدم تلقیح، تلقیح با سویه *Bacillus subtilis* و تلقیح با سویه *Pseudomonas putida*) بود. باکتری‌ها از دانشکده داروسازی دانشگاه تهران تهیه شد. از ترکیب خاک، کوکوپیت، پرلیت به نسبت یکسان به منظور کشت بذر در سینی‌های کشت استفاده شد. آبیاری سینی‌های کشت روزی یک بار در شرایط محیطی تهویه مناسب، دمای ۳۵ درجه سلسیوس و بیشترین شرایط آفتابی برای نشاها صورت گرفت. پس از ظهور برگ‌های سوم و چهارم، دانهال‌ها در بسترهای گلدانی کاملاً یکنواخت حاوی خاک باغچه، خاک برگ و کود دامی (به نسبت‌های مساوی) مستقر شدند. چهار هفته بعد از استقرار، تیمارهای شوری (سدیم کلراید) از طریق آب آبیاری در غلظت‌های ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر به همراه عدم تیمار شوری به عنوان تیمار شاهد، سه بار در هفته اعمال گردید. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از تجمع نمک و افزایش بیش از حد EC گلدان‌ها، هر هفته یکبار میزان EC خاک اندازه‌گیری شد و در صورت تجمع نمک، آبشویی (با آب معمولی آبیاری) صورت گرفت. همچنین تیمارهای باکتریایی نیز با غلظت 10^{8} cfu/ml یک هفته پس از شروع تیمارهای شوری به محیط گلدان اعمال شدند. سپس به مدت یک هفته به منظور تکثیر باکتری‌ها در خاک و تاثیر آن‌ها روی رشد و عملکرد گیاه، از گیاهان نگه‌داری نموده و بعد از آن صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژی گیاه اندازه‌گیری می‌شود. در این راستا به منظور اندازه‌گیری ارتفاع گیاه از خط کش بر حسب سانتی‌متر از محل طوقه تا نوک بوته برای هر تکرار استفاده شد. تعداد برگ‌های توسعه یافته هر بوته تا زمان اتمام رشد، شمارش شدند. پس از خارج کردن گیاهان از گلدان و شستشوی کامل ریشه‌ها، قسمت هوایی و ریشه از هم جدا شدند. جهت محاسبه وزن تر اندام هوایی و ریشه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. سپس جهت محاسبه وزن خشک قسمت هوایی و ریشه، اندام‌ها به‌طور جداگانه در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و سپس توسط ترازوی دیجیتال وزن تر و خشک بوته و ریشه محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک برگ، از هرگلدان، ۳ عدد برگ، از برگ‌های توسعه یافته قسمت انتهایی تهیه شد. بلافاصله وزن تر آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری گردید وسپس به مدت ۲۴ ساعت برگ‌ها به آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شد و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. میزان کلروفیل با استفاده از روش Arnon (1949) اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری فنل و آنتی اکسیدان عصاره گیری به روش Bedreag *et al.* (2014) صورت گرفت و انداره فنل کل به روش فولین سیو-کالچو (Meda *et al*., 2005) و آنتی اکسیدان به روش DPPH (Ozen *et al*., 2012) محاسبه شد.

اندازه‌گیری پرولین

برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش Bates *et al.* (1973) و با اندکی تغییر استفاده شد. مقدار ۰/۱ گرم نمونه تازه با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و با ۲ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک ۳ درصد هموژن گردید. پس از ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ۰/۵ میلی‌لیتر از روشناور به همراه ۲ میلی‌لیتر اسیدنین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و واکنش در داخل یخ به پایان رسید،سپس با اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر تولوئن جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و میزان پرولین با استفاده از منحنی‌های استاندارد پرولین محاسبه شد.

$$\text{Prolin } (\mu mol/g\ fw) = \frac{prolin\left(\frac{\mu g}{ml}\right)\times Toluene(ml)/115.5}{gr\ sample/5} \quad (1)$$

نشت یونی

شاخص پایداری غشا از طریق اندازه‌گیری میزان نشت یونی برگ‌ها ارزیابی شد. برای سنجش میزان آسیب به غشا، میزان نشت یونی از روش Ben hamed *et al.* (2007) استفاده شد. ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه برگ را بعد از شستشو با آب مقطر برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه درون قوطی فیلم قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. سپس قوطی فیلم را به مدت ۲ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC1)، سپس قوطی‌های فیلم در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گرادبه مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردیده و بعد از خنک شدن تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (EC2) و با فرمول زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید.

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{EC1}{EC2} \times 10 \qquad (۲)$$

عناصر سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ ها نیز در همه تیمارها مورد ارزیابی قرار گرفت (Chapman & Pratt, 1982). کلیه داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش توسط نرم‌افزار SAS آنالیز شدند و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج صفات مورفولوژیکی کلم زینتی تحت تاثیر تنش شوری و باکتری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تنش شوری و تلقیح باکتری‌های محرک رشد و اثر متقابل آن‌ها بر صفت ارتفاع گیاه و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش شوری و کاربرد باکتری و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر برگ داشت (جدول ۱). وزن خشک ریشه تحت تاثیر تنش شوری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). کاربرد باکتری و اثر متقابل تنش و باکتری اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر وزن تر ریشه نشان دادند (جدول ۱). اثر تنش شوری و برهمکنش باکتری و شوری بر وزن تر و خشک بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما تیمار باکتری محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر این صفات نداشتند (جدول ۱). اثر تنش خشکی، کاربرد باکتری و برهمکنش آن‌ها بر طول ریشه کلم زینتی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). کلیه صفات رویشی گیاه کلم زینتی در اثر تنش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافتند (جدول ۲). کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث تعدیل اثر سوء شوری بر این صفات گردید. بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار شاهد و کاربرد باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* بود و ارتفاع گیاه ۳۳/۶۰ سانتی‌متر بود (جدول ۲). درواقع کاربرد باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر، باعث بهبود این صفت گردید (جدول ۲). افزایش تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ شد. به‌طوری که بیش‌ترین تعداد برگ (۶۸/۶۶ برگ) در تیمار عدم تنش شوری و کاربرد باکتری سودوموناس مشاهده شد (جدول ۲). کاربرد هر دو سطح باکتری در سطح شوری ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر توانست تعداد برگ را نسبت به عدم کاربرد باکتری در همان سطح شوری بهبود بخشد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک برگ مربوط به تیمار شاهد (عدم تنش شوری) و کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* (به ترتیب ۶/۳۵ و ۰/۸۰ گرم) بود (جدول ۲). کاربرد باکتری‌های محرک رشد به خصوص باکتری *سودوموناس پوتیدا* در شرایط شوری توانست تا حدودی وزن تر و خشک برگ را بهبود ببخشد (جدول ۲). بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه در شرایط عدم تنش شوری و کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* (به ترتیب ۱۰/۳۵ و ۳/۸۷ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). وزن تر و خشک بوته با افزایش سطح شوری کاهش یافت. بیش‌ترین وزن تر و خشک بوته در تیمار شاهد (عدم تنش شوری) و کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* با میانگین ۸۵/۸۰ گرم و ۱۵/۱۲ گرم، مشاهده شد. همچنین در شرایط تنش شوری باکتری‌ها توانستند وزن تر و خشک بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش دهند (جدول ۲). طول ریشه با کاربرد باکتری سودوموناس بهبود یافت. بیش‌ترین میانگین طول ریشه در تنش شوری ۸

دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* (۲۱/۱۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. کاربرد باکتری محرک رشد در تنش شوری ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر نسبت به عدم کاربرد باکتری در این سطوح شوری شد (جدول ۲).

رشد و ارتفاع بوته به شرایط محیطی که گیاه در آن رشد می کند وابسته است. یکی از این شرایط فراهم بودن آب کافی برای گیاه است. در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز گیاه، فشار تورژسانس سلول‌ها کاهش می‌یابد همچنین تنش اسمزی حاصل از تنش شوری موجب کاهش محتوای آب سلول‌ها می‌شود و طویل شدن سلول‌ها با مشکل مواجه می‌گردد که سبب کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد (Munns *et al.*, 2006). در شروع تنش اسمزی، جلوگیری از رشد سلولی به کاهش توسعه برگ‌ها منجر می شود. کاهش سطح برگ موجب جذب آب کمتر از خاک شده و در نتیجه تعرق گیاه کم می‌شود در نتیجه کاهش وزن تر و خشک برگ‌ها رخ می‌دهد (Jalil marandi, 2010). از طرفی استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش وزن تر و خشک برگ‌ها شده که با تحقیقات Sheikhalipour *et al.* (2019) که اثر این کودهای زیستی را بر روی گیاه گوجه فرنگی مورد بررسی قرار دادند، مطابقت داشت. تنش شوری و کمبود عناصر غذایی باعث تغییرات مختلف فیزیولوژی در گیاهان مانند سمیت یون‌ها، از جمله Na و Cl، تخریب ساختار سلولی، کاهش رشد و عملکرد و عدم تعادل غذایی به دلیل کاهش جذب یا انتقال به بوته می‌شود. مهار رشد گیاه پاسخ متداولی به تنش شوری است. کاهش فاکتورهای رشد تحت تنش شوری، به افزایش فشار اسمزی و کمبود مواد مغذی و آسیب به برخی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مربوط می‌باشد (Alqarawi *et al.*, 2014).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و باکتری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی کلم زینتی.

Table1. Results of variance analysis effect of salinity stress and bacteria on some morphophysiological traits of *Brassica oleraceae* L.

Source of variation	df	Mean squares								
		Plant height	Number of leaves	Laef fresh weight	Leaf dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Plant fresh weight	Plant dry weight	Root length
Salinity stress	2	85.47**	1689.34**	27.01**	0.36**	4.92^{ns}	0.54*	799.07**	31.43**	74.51**
Bacteria	2	20.92**	49.23**	0.25**	0.001^{ns}	16.81**	1.33**	76.98^{ns}	0.51^{ns}	44.36**
Bacteria×Salinity stress	4	12.43**	34.14**	0.72**	0.002**	17.78**	1.70**	577.93**	18.25**	14.25**
Error	18	0.94	3.21	0.01	0.0003	1.61	0.13	33.10	0.68	37.30
C.V (%)	-	3.34	3.42	2.89	3.71	14.93	13.59	9.06	8.16	8.53

ns، *، ** به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-Significantly difference and significantly different at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و باکتری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی کلم زینتی.

Table 2. Mean comparison interaction effect of salinity stress and bacteria on morphophysiological traits of *Brassica oleraceae* L.

Salinity stress (dS/m)	Bacteria	Plant height (cm)	Number of leaves	Leaf fresh weight (g)	Leaf dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Plant fresh weight (g)	Plant dry weight (g)	Root length (cm)
0	No Bacteria	31.80^{ab}	67.66^{a}	5.63^{b}	0.72^{b}	8.97^{c}	3.11^{c}	73.35^{c}	11.59^{c}	13.06^{de}
	Bacillus subtilis	33.60^{a}	68.00^{a}	5.67^{b}	0.75^{ab}	10.03^{b}	3.68^{ab}	82.45^{ab}	14.43^{ab}	14.23^{d}
	Pseudomonas putida	30.90^{ab}	68.66^{a}	6.35^{a}	0.80^{a}	10.35^{a}	3.87^{a}	85.80^{a}	15.12^{a}	21.10^{a}
4	No Bacteria	25.33^{c}	40.50^{e}	2.94^{de}	0.40^{e}	6.68^{d}	2.75^{d}	62.53^{de}	10.36^{d}	15.10^{cd}
	Bacillus subtilis	31.70^{ab}	46.00^{c}	3.13^{d}	0.47^{cd}	10.11^{b}	3.36^{b}	66.45^{d}	12.89^{b}	15.37^{c}
	Pseudomonas putida	30.75^{ab}	49.00^{b}	3.45^{c}	0.52^{c}	10.29^{ab}	3.64^{ab}	70.55^{cd}	14.61^{ab}	15.65^{bc}
8	No Bacteria	25.05^{c}	37.00^{f}	2.45^{f}	0.35^{de}	5.07^{e}	2.21^{e}	54.55^{f}	8.36^{f}	16.73^{b}
	Bacillus subtilis	25.75^{c}	43.00^{ca}	2.89^{ae}	0.42^{a}	7.09^{ca}	2.87^{a}	46.65^{g}	9.98^{ae}	17.83^{b}
	Pseudomonas putida	26.65^{c}	45.00^{c}	3.20^{cd}	0.48^{cd}	8.77^{c}	2.89^{cd}	51.75^{fg}	12.11^{bc}	21.33^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level.

توانایی افزایش رشد گیاهان تلقیح شده با باکتری‌ها را می‌توان به توانایی انحلال فسفر غیر آلی، داشتن فعالیت ACC-دآمیناز و تولید IAA و سیدروفور نسبت داد. آنزیم ACC- دآمیناز تولید شده توسط باکتری‌های محرک رشد نقش اساسی در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش محیطی دارد (Saleem *et al*., 2007). Azarmi-Atajan & Sayyari-Zohan (2020) گزارش کردند که تنش شوری وزن تر و خشک ساقه را کاهش داد اما کاربرد باکتری محرک در مقایسه با عدم کاربرد باکتری محرک رشد، به طور قابل توجهی باعث افزایش وزن تر و خشک بوته کاهو در تنش شوری شد. Moncada *et al*. (2020) اظهار داشتند که گیاهانی که تحت تنش شوری رشد می‌کنند، معمولاً کاهش قابل توجهی از میزان رشد برگ‌ها و میوه‌ها را نشان می‌دهند و دارای گیاهان کوتاه‌تری هستند. طبق بررسی‌های صورت گرفته کاهش دسترسی به مواد مغذی در ریزوسفر به دلیل شوری می‌تواند منجر به کاهش شدید رشد گیاه شود که کاربرد باکتری محرک رشد مانع کاهش رشد گیاه کاهو در شرایط تنش شوری شد و تاثیر مثبتی بر رشد گیاه، وزن تر و خشک بوته، ارتفاع بوته، تعداد برگ و سطح برگ داشت. باکتری‌های محرک رشد می‌توانند تاثیر خود را روی گیاهان با مکانیسم‌های مختلف مانند تغییر در محتوای هورمونی، تولید ترکیبات فرّار، افزایش در دسترس بودن مواد مغذی یا افزایش تحمل به تنش‌ها اعمال کنند. نتایج پژوهش Rostami kiya *et al*. (2017) نشان داد که باکتری‌های *سودوموناس پوتیدا*، *باسیلوس سوبتیلیس* و *اینتروباکتر*، زیست توده ریشه و اندام هوایی نونهال‌های فندق را افزایش دادند به طوری که باکتری *سودوموناس پوتیدا* وزن خشک ریشه و حجم ریشه نونهال‌های تلقیح‌شده فندق را به‌ترتیب ۷۹/۳ و ۶۸/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد.

در مطالعه تأثیر باکتری‌های محرک رشد و اسید هیومیک بر گیاه دارویی ریحان تحت تنش خشکی، میانگین تعداد گل‌آذین بوته با کاربرد باکتری‌های محرک رشد همراه با زمان آبیاری ۴۰ میلی‌متر، افزایش یافت و کمترین میزان گل‌آذین مربوط به تیمار عدم کاربرد باکتری و آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر بود. Nor Elahi *et al*. (2020) اظهار داشت که در تنش شوری، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی کاهش یافت. همچنین عملکرد گیاهان تلقیح شده با باکتری نسبت به گیاهان شاهد بهتر بود.

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل کل و کاروتنوئید)

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها اثر ساده تنش شوری و باکتری و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش شوری میزان کلروفیل کل کاهش یافت همچنین کاربرد باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس توانست مقدار کلروفیل کل را نسبت به عدم کاربرد باکتری افزایش دهد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد (بدون تنش شوری) و کاربرد باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* به میزان ۲/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. همچنین کاربرد باکتری باسیلوس در مقایسه با عدم کاربرد باکتری در تنش‌های شوری ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر تا حدودی باعث بهبود این صفت گردید (شکل ۱).

بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در تیمار شاهد (عدم تنش شوری) و باکتری سودوموناس (۸/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد. کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا در سطوح مختلف تنشی، موجب بهبود این صفت شد (شکل ۴). کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی یکی از اثرات تنش‌های محیطی نظیر شوری می‌باشد و این کاهش بستگی به نوع گیاه، مدت و شدت تنش و مرحله نموی گیاه دارد. به طور گسترده‌ای گزارش شده است که تقریباً انواع مختلف تنش از جمله تنش شوری باعث آسیب به غشای تیلاکوئید می‌شود، محلی که در آن انواع مختلف رنگدانه‌های فتوسنتز جمع می‌شوند. با توجه به تعدادی از مطالعات، ارتباط نزدیکی بین رنگدانه‌های فتوسنتز (عمدتاً کلروفیل a و b) و میزان فتوسنتز در بیشتر گیاهان تحت تنش شوری وجود دارد.کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتز در شرایط تنش شوری می‌تواند عمدتاً به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست

و دستگاه فتوسنتز، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز و اختلالات هورمونی باشد (Neocleous & Nasilakakis, 2007).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تاثیر تنش شوری و باکتری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی کلم زینتی.

Table 3. Results of variance analysis effect of salinity stress and bacteria on morphological and physiological traits of *Brassica oleraceae* L.

Source of variation	df	Mean of squares								
		Total chlorophyll	Carotenoids	Phenol	Antioxidant	Ionic leakage	Proline	Na	K	Na/K
Salinity stress	2	2.14**	2.63**	0.24**	85.95**	133.81**	0.023**	0.09**	0.69**	0.09**
Bacteria	2	0.18**	8.39**	0.07*	87.52**	26.15^{ns}	0.00006**	0.78**	7.41**	0.47**
Bacteria×Salinity stress	4	0.37**	5.09**	0.05*	6.65^{ns}	28.50*	0.001**	0.70**	3.58**	0.16**
Error	18	0.02	0.54	0.02	4.74	10.19	0.000006	0.006	0.01	0.0006
CV (%)	-	7.40	11.20	14.85	5.86	4.08	2.52	11.43	3.31	8.93

ns، *، ** به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-Significantly difference and significantly difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

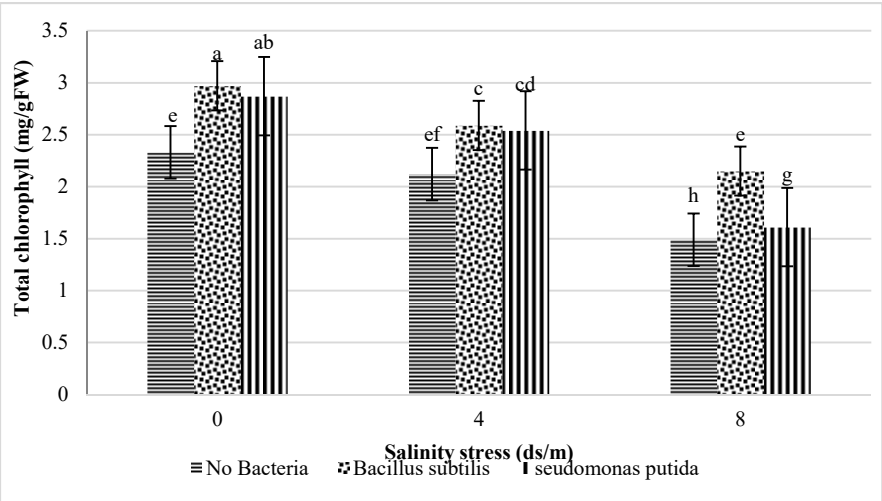
جدول ۴. مقایسه میانگین تاثیر تنش شوری و باکتری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی کلم زینتی.

Table 4. Mean comparison effect of salinity stress and bacteria on morphological and physiological traits of *Brassica oleraceae* L.

Salinity stress (dS/m)	Total chlorophyll (mg/g FW)	Carotenoids (mg/g FW)	Phenol (mg/g FW)	Antioxidant (µmol/g FW)	Ionic leakage (%)	Proline (µmol/g FW)	Na (mg pot^{-1})	K (mg pot^{-1})	Na/K (mg pot^{-1})
0	2.70^{a}	7.15^{a}	0.78^{b}	56.41^{b}	73.84^{b}	0.03^{c}	0.59^{b}	3.35^{a}	0.17^{c}
4	2.44^{b}	6.49^{ab}	1.06^{a}	58.63^{b}	79.12^{a}	0.11^{b}	0.65^{b}	2.88^{b}	0.30^{b}
8	1.76^{c}	6.08^{b}	1.08^{a}	62.52^{a}	81.34^{a}	0.13^{a}	0.79^{a}	2.86^{b}	0.37^{a}
Bacteria									
Bacillus subtilis	2.44^{a}	7.07^{a}	1.08^{a}	62.78^{a}	76.26^{ab}	0.099^{a}	0.44^{b}	3.71^{a}	0.11^{b}
Pseudomonas putida	2.15^{ab}	7.20^{a}	0.94^{ab}	57.55^{b}	78.41^{a}	0.094^{b}	0.59^{a}	3.39^{b}	0.19^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و باکتری محرک رشد بر کلروفیل کل کلم زینتی.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of salinity stress and growth-promoting bacteria on total chlorophyll of ornamental cabbage.

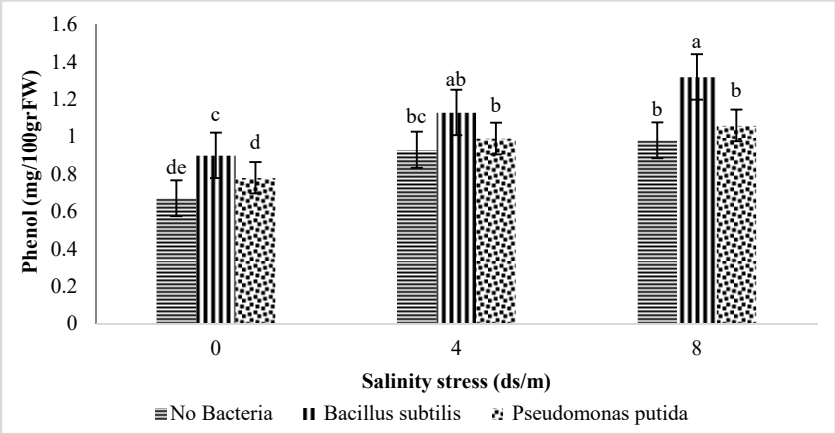
کاهش مقدار کاروتنوئید در شرایط تنش نیز به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زئازانتین در چرخه گزانتوفیل می‌باشد (Xiang-dong, 2010). Danish *et al.* (2020) اظهار داشتند که تحت تنش شوری، افزایش قابل توجهی در بیوسنتز اتیلن رخ می‌دهد و باعث کاهش صفات رویشی گیاهان می‌شود. آن‌ها در مطالعه خود مشاهده کردند که وقتی اتیلن با کلروپلاست تماس پیدا می‌کند، ژن کلروفیلاز را فعال می‌کند. در نتیجه فعال‌سازی کلروفیلاز، غشا از بین می‌رود و باعث از بین رفتن کلروفیل می‌شود (Eckardt, 2009). Azarmi-Atajan & Sayyari- Zohan (2020) بیان کردند کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش نمکی نیز ممکن است به دلیل اختلال در بیوسنتز یا تخریب سریع رنگدانه باشد. همچنین گزارش کردند که تنش شوری میزان کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید کاهو را کاهش داد اما تلقیح با باکتری محرک رشد، موجب افزایش مقدار این صفات شد. همچنین باکتری محرک رشد در سطح تنش شوری میزان این صفات را در مقایسه با عدم کاربرد باکتری در همان سطح شوری افزایش داد. Nadeem *et al.* (2006) طی پژوهشی گزارش کردند که تنش شوری باعث کاهش میزان کلروفیل در ذرت شد ولی این کاهش در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد مولد آنزیم ACC- دآمیناز کم‌تر از گیاهان تلقیح نشده بود. نتایج Abeer *et al.* (2015) نشان داد که شوری باعث کاهش کلروفیل و محتوای کل کاروتنوئید در برگ‌های باسیای هند (*Bassia indica*) شد. همچنین باکتری محرک رشد باسیلوس باعث افزایش کلروفیل a، b و کاروتنوئید در برگ‌های گیاهان باسیای هند که تحت هر دو شرایط غیر شور و خاک شور رشد می کنند، شد.

فنل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده تنش شوری بر صفت فنل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده باکتری و اثر متقابل شوری و باکتری نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش غلظت نمک میزان فنل کل در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت. بیش‌ترین مقدار فنل در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر به میزان ۱/۰۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر مشاهده شد (شکل ۴). کاربرد باکتری محرک رشد نسبت به عدم کاربرد باکتری باعث افزایش مقدار فنل کل در کلم زینتی شد و بیش‌ترین فنل کل در باکتری باسیلوس به میزان ۱/۰۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر به‌دست آمد (جدول ۴). با توجه به نمودار مقایسه میانگین‌ها تلقیح با باکتری باسیلوس در سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر بیش‌ترین میزان فنل کل (۱/۳۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) را موجب شد. همچنین در سطوح مختلف شوری کاربرد باکتری باعث افزایش مقدار فنل کل نسبت به عدم کاربرد باکتری شد (شکل ۲). افزایش ترکیبات فنل پروپانوئید تحت تأثیر باکتری‌ها در شرایط شوری نشان می‌دهد که، گیاهان سعی می‌کنند منابع فنلی را در سطوح بالا نگه دارند تا تنش شوری را کاهش دهند. مطالعات اخیر نشان می دهد که باکتری‌ها در سازگاری گیاه با تنش نقش دارند یا مسئول آن هستند (Forouzi *et al.*, 2020). افزایش تولید ترکیبات فنلی بر اثر شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است (Radi *et al.*, 2013). Forouzi *et al.* (2020) نشان دادند که شوری باعث افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه استویا می‌شود همچنین کاربرد باکتری محرک رشد با افزایش یافتن سطح شوری، باعث افزایش میزان فنل کل شد. در شرایط تنش بیان ژن آنزیم تولیدکننده ترکیبات فنلی (فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز) افزایش می‌یابد که باکتری‌های محرک رشد می‌توانند باعث القای بیان ژن این آنزیم شوند که در نتیجه موجب افزایش فنل کل در گیاهان می‌شود.

ظرفیت آنتی اکسیدانی

بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر ساده تنش شوری و همینطور باکتری بر فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با اعمال تنش شوری افزایش یافت و بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تنش ۸ دسی زیمنس بر متر ۶۲/۵۲ درصد حاصل شد. کاربرد باکتری باسیلوس توانست فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلم زینتی را نسبت به سایر تیمارهای باکتریایی افزایش دهد (جدول ۴).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و باکتری محرک رشد بر فنل کل کلم زینتی

Figure 2. Mean comparison interaction effect of salinity stress and growth-promoting bacteria on total phenol of ornamental cabbage.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا را می‌توان به محتوای فنل پروپانوئید نسبت داد. یکی از اولین واکنش‌های گیاهان در برابر شرایط استرس‌زا، تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) است. افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان مکانیسم سازگاری با تنش شوری در نظر گرفته شده است (Bargaz *et al*., 2015). این فعالیت‌ها با کاهش آسیب اکسیداتیو و بهبود تحمل به شوری همراه است (Kibria *et al*., 2017). Kumar *et al.* (2009) گزارش کرد که کاربرد باکتری محرک رشد باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ذرت تحت تنش می‌شود. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد با افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی جو، تحمل به تنش را افزایش می دهند. Han & Lee (2005) در آزمایش خود نشان دادند که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه کاهو شد و همچنین تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش اثر شوری بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تمایل دارد. گیاهان می‌توانند از استراتژی‌های مختلفی برای جلوگیری از آسیب نمکی در تمام سطوح گیاهان استفاده کنند. از جمله آنها، تنظیم اسمزی، تقویت سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و افزایش توانایی فتوسنتز از مهم‌ترین آن‌ها هستند (El-Sayed & Hagab, 2020).

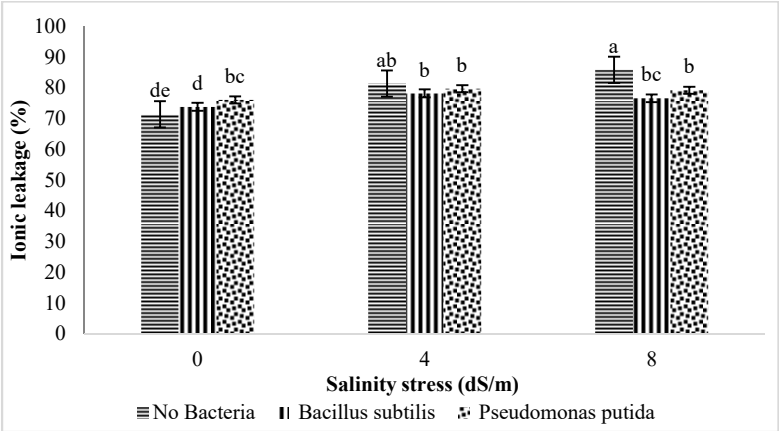
نشت یونی

بر اساس جدول ۳ اثر تنش شوری بر صفت نشت یونی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اثر ساده باکتری بر صفت نشت یونی معنی‌دار نشد. اثر متقابل شوری و باکتری بر صفت نشت یونی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش شوری نشت یونی افزایش یافت. بیش‌ترین نشت یونی در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد باکتری به میزان ۸۵/۹۶ درصد مشاهده شد. کاربرد باکتری باسیلوس توانست تا حدودی نشت یونی را نسبت به عدم کاربرد باکتری کاهش دهد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد در سطوح ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش نشت یونی نسبت به عدم کاربرد باکتری شد (شکل ۳). همچنین نتایج Zafar-Ul-Hye *et al.* (2020) نشان داد که تنش شوری به طور قابل توجهی باعث افزایش نشت یونی در گیاهان می‌شود اظهار داشتند که نفوذپذیری بیش‌تر غشای سلول در اثر آسیب ناشی از استرس‌ها معمولاً منجر به نشت الکترولیت بالاتر می‌شود با این حال نشان دادند کاربرد باکتری محرک رشد، به‌طور قابل توجهی نشت یونی را در گیاه اسفناج کاهش داد که این موضوع ممکن است به‌دلیل کاهش تجمع اتیلن باشد. یافته‌های Nadeem *et al.* (2017) نشان داد که تحت تنش شوری، باکتری محرک رشد منجر به کاهش نشت الکترولیت می‌شود. Kaya (2019) با تحقیق روی دو رقم ذرت تحت تنش

شوری افزایش نشت یونی سلولی را مشاهده کرد. باکتری‌های محرک رشد می‌توانند باعث القای تجمع هورمون اسیدسالیسیلیک شوند. اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جذب کلسیم، گیاه را از صدمات حاصل از واکنش‌های اکسیداتیو حفظ می‌کند. همچنین اسیدسالیسیلیک میزان پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند به یکپارچگی و حفظ غشای تحت شرایط تنش شوری کمک کند (Németh *et al*., 2002). Saleem *et al.* (2007) کردند که بیش‌ترین ثبات غشا در سویه‌های دارای آنزیم ACC- دآمیناز مشاهده شد که این می‌تواند ناشی از کاهش تنش توسط این آنزیم باشد. ارزیابی روابط آب در گیاهانی که تحت شرایط تنش از جمله تنش شوری رشد می‌کنند، لازم است تا مشخص شود که میزان آب سلولی تا چه حد حفظ می‌شود، زیرا تقریباً تمام فعالیت‌های متابولیکی درون سلول بستگی به وجود مقدار کافی آب در آن دارد (Duraiswamy *et al*., 2010). بسیاری از محققان از همبستگی شدید بین تولید ROS و یکپارچگی ساختاری و عملکردی غشاها حمایت کرده‌اند (Tavallali *et al*., 2009). کاهش RWC در شرایط شور قبلاً در گونه‌هایی از جمله گوجه‌فرنگی (Tuna *et al*., 2007)، فلفل (Akladious & Mohamed, 2018) و زیتون (Trabelsi *et al*., 2019) گزارش شده است.

میزان پرولین

تاثیر شوری و همین طور اثر ساده باکتری و تاثیر متقابل شوری و باکتری بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، پرولین برگ از یک روند افزایشی در سطوح مختلف تنش شوری و در بین گیاهان تلقیح شده و تلقیح نشده با باکتری برخوردار بود. بیش‌ترین میزان پرولین در تنش ۸ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. همچنین کاربرد باکتری باسیلوس توانست میزان پرولین را افزایش دهد اما با تیمار شاهد (عدم کاربرد باکتری) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان پرولین در تنش ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر و کاربرد باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* مشاهده شد (شکل ۴). افزایش نمک باعث افزایش غلظت پرولین در گیاهان می‌شود که به نوبه خود سبب فعالیت آنزیم‌های کاتابولیزم می‌شود که سنتز پرولین را تنظیم می‌کند. تجمع پرولین شاخص تحمل تنش در گیاهان است. Ahmad *et al.* (2016) در آزمایش خود مشاهده کردند که غلظت پرولین، در گیاهان نخود تحت تنش شوری و تلقیح یافته با باکتری *باسیلوس سابتیلیس* افزایش یافت که همین موضوع باعث بهبود وزن تر و خشک بوته شد. تجمع اسمولیت‌های آلی در سلول‌های گیاهی برای حفظ پتانسیل اسمزی داخل سلولی گیاهان بسیار مهم است و از این طریق از مضرات شوری جلوگیری می‌کند (Verslues *et al*., 2006).



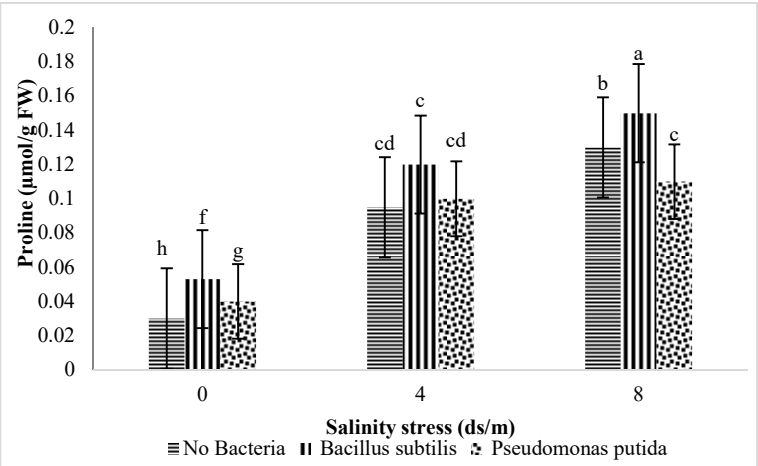
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و باکتری محرک رشد بر نشت یونی کل کلم زینتی.

Figure 3. Mean comparison interaction effect of salinity stress and growth-promoting bacteria on Ionic leakage of ornamental cabbage.

اسمولیت‌های متداول در گیاهان عروقی شامل پرولین، گلیسین بتائین، پلی‌آمین‌ها، الکل‌های قند و پروتئین‌های ویژه خانواده LEA هستند. تنش شوری سنتز اسمولیت‌ها را تحریک می‌کند. در بین اسمولیت‌های آلی، پرولین و گلایسین بتائین فراوان‌ترین و کارآمدترین املاح سازگار هستند (Tang *et al*., 2015). علاوه بر نقش معمول فرض شده در تنظیم اسمزی، پرولین اکنون به‌عنوان یک واکنش‌گر اکسیژن، بافر ردوکس و محافظ مولکولی عمل می‌کند و غشاها و پروتئین‌ها را در شرایط استرس تثبیت می‌کند (Guinn *et al*., 2011; Bernstein *et al*., 2019). Esan *et al*. (2020) در آزمایش خود نشان دادند که با افزایش تنش شوری مقدار پرولین افزایش یافت. همچنین کاربرد باکتری باسیلوس به همراه تنش شوری در مقایسه با عدم کاربرد باکتری در تنش شوری موجب افزایش مقدار پرولین شد. افزایش پرولین تحت تأثیر باکتری‌ها ممکن است به نقش باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن اشاره داشته باشد. پرولین را می توان در لیست آنتی‌اکسیدان های غیر آنزیمی قرار داد که میکروب ها، حیوانات و گیاهان برای خنثی سازی اثر مهار کننده ROS به آن نیاز دارند. تجمع پرولین یک مکانیسم تعدیل پتانسیل اسمزی است که در گونه های مختلف گیاهی متفاوت است و در شرایط تنش محیطی می تواند تا ۱۰۰ برابر افزایش یابد (Forouzi *et al*., 2020). Mahmud *et al*. (2020) دریافتند که سویه‌های باکتری محرک رشد تولیدکننده IAA و پرولین با کنترل پتانسیل آب برگ و هموستاز یونی، مهار رشد ناشی از نمک را در گیاهان جو کاهش می‌دهد. Niu *et al*. (2019) گزارش کردند که پروتئین محلول و پرولین در برگ گوجه فرنگی تحت تیمار با باکتری محرک رشد افزایش یافت.

سدیم و پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم

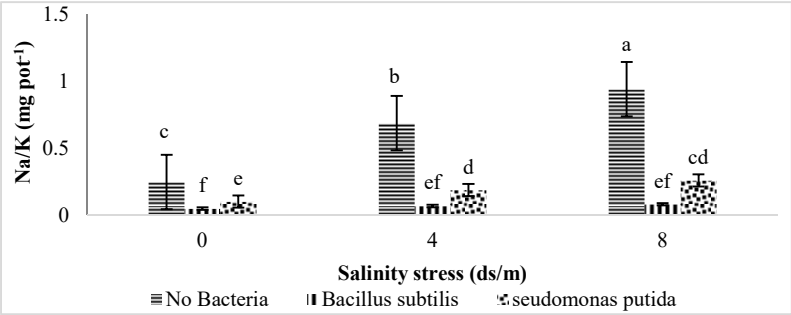
اثر تنش شوری و باکتری محرک همچنین برهم‌کنش تنش و باکتری بر میزان سدیم و پتاسیم برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر تنش شوری و باکتری و برهم‌کنش تنش و باکتری بر نسبت سدیم و پتاسیم در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در شرایط تنش، میزان عنصر سدیم با افزایش سطح شوری افزایش یافت بیش‌ترین محتوای سدیم در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد باکتری به میزان ۱/۴۶ میلی‌گرم در گلدان به‌دست آمد. با توجه به نتایج با افزایش تنش شوری مقدار سدیم افزایش یافت اما کاربرد باکتری محرک رشد به خصوص باکتری باسیلوس توانست میزان عنصر سدیم را در هر دو سطح تنش شوری نسبت به عدم کاربرد باکتری در همان سطح شوری کاهش دهد. همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش تنش شوری میزان عنصر پتاسیم در برگ کاهش یافت.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و باکتری محرک رشد بر میزان پرولین کلم زینتی.

Figure 4. Mean comparison interaction effect of salinity stress and growth-promoting bacteria on proline of ornamental cabbage.

همینطور کاربرد باکتری توانست میزان عنصر پتاسیم را افزایش دهد بیش‌ترین میزان عنصر پتاسیم در کاربرد باکتری باسیلوس در شرایط عدم تنش شوری به میزان ۴/۵۳ میلی‌گرم در گلدان به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که کاربرد باکتری محرک رشد در مقایسه با عدم کاربرد باکتری، در سطوح تنش شوری باعث افزایش جذب عنصر پتاسیم در کلم زینتی شد. با توجه به نمودار مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین نسبت سدیم به پتاسیم در تنش شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و عدم کاربرد باکتری به میزان ۰/۹۴ میلی‌گرم در گلدان مشاهده شد. با افزایش تنش شوری نسبت سدیم به پتاسیم افزایش یافت و کاربرد باکتری محرک رشد در سطوح مختلف شوری توانست به طور معنی‌داری باعث کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در کلم زینتی شود (شکل ۵). غلظت بالای سدیم در بافت‌های گیاهی باعث اثر اسمزی، مهار رشد، عدم تعادل غذایی، آسیب به غشا، سمیت یون و مهار انبساط و همچنین تقسیم سلول می‌شود غلظت بیش از حد سدیم خارجی در شرایط نمکی نه تنها با جذب K توسط ریشه‌ها رقابت می‌کند، بلکه با ایجاد اختلال در یکپارچگی آن‌ها، غشای ریشه را نیز تغییر می‌دهد (Weisany *et al*., 2014). تلقیح گیاه با PGPRمی تواند جریان غیرفعال (آپوپلاسمی) سدیم را کاهش داده و در نتیجه جذب سدیم را توسط ریشه‌ها محدود کند. باکتری‌های مفید خاک از طریق فراهمی زیستی مواد مغذی مانند P و K در ریزوسفر نقش اساسی در افزایش رشد گیاه دارند. طبق آزمایش صورت گرفته توسط Salehi *et al* (1401) کاربرد باکتری‌های محرک رشد باسیلوس سوبتیلیس در گیاه زعفران موجب افزایش میزان پتاسیم در برگ‌های این گیاه نسبت به شاهد شد. تولید اسیدهای آلی (مانند اسید اگزالیک، و اسید سیتریک) و پروتون‌ها و در نتیجه کاهش pH ریزوسفر مهم‌ترین مکانیسم PGPR در حل فرم‌های غیر قابل دسترس مواد معدنی می‌باشد (Hariprasad & Niranjana, 2009). تنش شوری با کاهش غلظت عناصر معدنی ضروری (منیزیم، کلسیم، پتاسیم و فسفر) در گیاهان، غلظت سدیم در بافت‌ها را افزایش می‌دهد. Dodd & Perez-Alfocea (2012) بیان کردند که باکتری محرک رشد می‌تواند باعث کاهش یون‌های سمی و حفظ تعادل یونی داخل سلول شود و در نتیجه میزان مواد مغذی موجود در گیاهان را افزایش دهد. Esan *et al*. (2020) گزارش کردند که با افزایش مقدار شوری مقدار عنصر سدیم در سلول‌ها افزایش یافت اما کاربرد باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* به طور معناداری مقدار تجمع سدیم در برگ را کاهش داد. به دلیل افزایش ورود سدیم از طریق آوند آبکشی و یا ناکافی بودن ورود سدیم به واکوئل‌های سلول‌های برگ ممکن است مقدار سدیم در آپوپلاست افزایش یابد سدیم زیاد ممکن است از ورود پتاسیم ممانعت کند و به این وسیله به طور غیرمستقیم مانع از بارگیری آوندهای آبکش گردد (Seyed sharifi *et al*., 2018). یکی از روش‌های تحمل به شوری کاهش جذب یون سدیم می‌باشد. به‌نظر می‌رسد پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد توانسته‌اند تا حد زیادی موجب کاهش جذب سدیم در تیمارهای تحت تنش شوری شوند به عبارت دیگر کاربرد باکتری‌های محرک رشد قادر بودند تحمل گیاه را نسبت به شرایط شوری خاک افزایش دهند.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و باکتری محرک رشد بر نسبت سدیم بر پتاسیم کل کلم زینتی.
Figure 5. Mean comparison interaction effect of salinity stress and growth-promoting bacteria on Na/K of ornamental cabbage.

Ashraf (2004) اظهار داشت که در شرایط شور به دلیل وجود بیش از اندازه سدیم قابل تبادل، نسبت‌های بالایی از سدیم به پتاسیم در خاک ایجاد می‌شود. گیاهان در چنین محیط‌هایی مقدار زیادی سدیم جذب می‌کنند در حالی که جذب پتاسیم به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. Chen *et al.* (2005) گزارش کردند شوری موجب افزایش مقدار سدیم در اندام‌های هوایی شده و نسبت سدیم به پتاسیم را در این اندام‌ها کاهش داد. Nadeem *et al.* (2007) در پیش تیمار با PGPR تحت تنش شوری مشاهده کردند که کاربرد باکتری محرک رشد جذب یون‌های سدیم و کلر را محدود و تجمع نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اندام‌های هوایی در مقایسه با شاهد افزایش داد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری (سدیم کلراید) موجب القای اثر منفی بر خصوصیات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه کلم زینتی شد. باکتری‌های محرک رشد به وسیله مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم باعث کاهش اثر منفی تنش شوری شدند. در مطالعه حاضر باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش میزان پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری)شده و رشد گیاه کلم زینتی را تحت تنش شوری بهبود بخشیدند. به طوری که در سطح شوری ۸ دسی زیمنس به صورت کاملاً معنی‌داری میزان پرولین در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح با باکتری) افزایش یافت که باعث مقاومت گیاه در برابر تنش شد. همچنین با افزایش دوره تنش میزان فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان پرولین نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. میزان نشت یونی با افزایش سطوح شوری افزایش یافت. همچنین نتایج بیانگر کارایی بالاتر باکتری سودوموناس در کاهش صدمات ناشی از تنش شوری و افزایش پارامترهای رویشی می‌باشد. بدین صورت که کاربرد باکتری سودوموناس موجب بهبود صفات تعداد برگ، وزن تر و خشک بوته و وزن تر خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ، طول ریشه، میزان کاروتنوئید، فنل کل و پرولین در گیاه کلم زینتی گردید. پس در سطوح بالای تنش شوری می‌توان با کاربرد باکتری‌های محرک رشد از خسارت ناشی از تنش شوری جلوگیری کرد.

REFERENCES

1. Abeer, H., Abdallah, E.F., Alqarawi, A.A., Al-Huqail, A.A., Alshalawi, S.R.M., Wirth, S. & Dilfuza, E. (2015). Impact of plant growth promoting *Bacillus subtilis* on growth and physiological parameters of *Bassia indica* (*Indian Bassia*) grown under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, 47(5), 1735-1741.
2. Ahmad, P., Abdel Lateef, A.A., Hashem, A., Abd-Allah, E.F., Gucel, S. & Tran, L.S. P. (2016). Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmoles and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in Plant Science*, 7:347-351.
3. Akladious, S.A. & Mohamed, H.I. (2018). Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 236, 244-250.
4. Alqarawi, A.A., Abd Allah, E.F. & Hashem, A. (2014). Alleviation of salt-induced adverse impact via mycorrhizal fungi in Ephedra aphylla Forssk. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 802-810.
5. Álvarez, S. & Sánchez-Blanco, M. J. (2014). Long-term effect of salinity on plant quality, water relations, photosynthetic parameters and ion distribution in Callistemon citrinus. *Plant Biology*, 16(4), 757-764.
6. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15.
7. Ashraf, M., & McNeilly, T. (2004). Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(2), 157-174.
8. Azarmi Atajan, F. & Sayyari-Zohan, M. H. (2020). Alleviation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3, 67-78.
9. Bargaz, A., Zaman-Allah, M., Farissi, M., Lazali, M., Drevon, J. J., Maougal, R. T. & Georg, C. (2015). Physiological and molecular aspects of tolerance to environmental constraints in grain and forage legumes. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 18976-19008.

10. Bates, L.S., Waldren, R.P. & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
11. Bedreag, C.F.G., Trifan, A., Bucur, L.A., Arcus, M., Tebrencu, C., Miron, A. & Costache, I.I. (2014). Chemical and antioxidant studies on *Crataegus pentagyna* leaves and flowers. *Romanian Biotechnological Letters*, 19(6), 98-59.
12. Ben Hamed, K.B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. & Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulation*, 53(3), 185-194.
13. Bernstein, N. (2019). *Plants and salt: Plant response and adaptations to salinity. In Model Ecosystems in Extreme Environments*. (pp. 101-112.) Academic Press.
14. Chapman, H.D. & Pratt, F.P. (1982). *Determination of minerals by titration method. Methods of Analysis for Soils, Plants and Water*. Ph.D. Thiesis. Oakland, CA: Agriculture Division, California University.
15. Chen, Z., Newman, I., Zhou, M., Mendham, N., Zhang, G. & Shabala, S. (2005). Screening plants for salt tolerance by measuring K+ flux: a case study for barley. *Plant, Cell and Environment*, 28(10), 1230-1246.
16. Danish, S.U.B.H.A.N., Zafar-ul-Hye, M.U.H.A.M.M.A.D., Hussain, S., Riaz, M.U.H.A.M.M.A.D. & Qayyum, M.F. (2020). Mitigation of drought stress in maize through inoculation with drought tolerant ACC deaminase containing PGPR under axenic conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 52(1), 49-60.
17. Dodd, I. C. & Perez-Alfocea, F. (2012). Microbial amelioration of crop salinity stress. *Journal Experimental Botany,* 63: 3415-3428.
18. Duraiswamy, H., Nallaiyan, S., Nelson, J., Samy, P. R., Johnson, M. & Varaprasadam, I. (2010). The effect of extracts of *Selaginella involvens* and *Selaginella inaequalifolia* leaves on poultry pathogens. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3(9), 678-681.
19. Eckardt, N.A. (2009). A new chlorophyll degradation pathway. *The Plant Cell*, 21(3),700-701.
20. Nor Elahi, N., Shafique, M., Imtiaz, M., Farooq, U. & Rashid, M. (2020). Amelioration of Salt Stress in *Cicer arietinum* L. by Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(1), 249-257.
21. El-Sayed, S.Y. & Hagab, R.H. (2020). Effect of organic acids and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on biochemical content and productivity of wheat under saline soil conditions. *The Middle East Journal*, 9(2), 227-242.
22. Esan, A.M., Olaiya, C.O., Anifowose, L.O., Lana, I.O., Ailenokhuoria, B.V., Fagbami, O. & Adeyemi, H.R.Y. (2020). Effect of plant growth-promoting rhizobacteria and gibberellic acid on salt stress tolerance in tomato genotypes. *African Crop Science Journal*, 28(3), 341-362.
23. Forouzi, A., Ghasemnezhad, A. & Nasrabad, R. G. (2020). Phytochemical response of Stevia plant to growth promoting microorganisms under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 134, 109-118.
24. Ghasemi Ghahsareh, M. & Membini, M. (2015). Evaluation of tolerance of ornamental cabbage of Queen cultivar to trifluralin toxin, *9th Congress of Horticultural Sciences*. 27-31 July. Minneapolis, Minnesota USA. 326-332. (In Farsi).
25. Guinn, E.J., Pegram, L.M., Capp, M.W., Pollock, M.N. & Record, M.T. (2011). Quantifying why urea is a protein denaturant, whereas glycine betaine is a protein stabilizer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(41), 16932-16937.
26. Han, H.S. & Lee, K.D. (2005). Plant Growth Promoting Rhizobacteria Effect on Antioxidant Status, Photosynthesis, Mineral Uptake and Growth of Lettuce under Soil Salinity. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(3), 210-215.
27. Hahm, M.S., Son, J.S., Hwang, Y.J., Kwon, D.K., and Ghim, S.Y. 2017. Alleviation of salt stress in pepper (*Capsicum annum* L.) plants by plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Microbiology and Biotechno*logy, 27(10), 1790-1797.
28. Hariprasad, P. & Niranjana, S.R. (2009). Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant and Soil*, 316(1-2), 13-24.
29. Israr, D., Mustafa, G., Khan, K.S., Shahzad, M., Ahmad, N. & Masood, S. (2016). Interactive effects of phosphorus and *Pseudomonas putida* on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, nutrient uptake, antioxidant enzymes and organic acids exudation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108, 304-312.
30. Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Polat, T. & Tuna, A. L. (2019). The Combined Effects of Nitric Oxide and Thiourea on Plant Growth and Mineral Nutrition of Salt-Stressed Plants of Two Maize Cultivars with Differential Salt Tolerance. *Journal of Plant Nutrition*, 42 (1), 231-239.
31. Kibria, M.G., Hossain, M., Murata, Y. & Hoque, M.A. (2017). Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. *Rice Science*, 24(3), 155-162.
32. Kumar, M., Yadav, V., Tuteja, N. & Johri, A.K. (2009). Antioxidant enzyme activities in maize plants colonized with Piriformospora indica. *Microbiology*, 155(3), 780-790

33. Liu, F., Xing, S., Ma, H., Du, Z. & Ma, B. (2013). Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in platycladus orientalis container seedlings. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 9155-9164.
34. Mahmoud, O. M. B., Hidri, R., Talbi-Zribi, O., Taamalli, W., Abdelly, C. & Djébali, N. (2020). Auxin and proline producing rhizobacteria mitigate salt-induced growth inhibition of barley plants by enhancing water and nutrient status. *South African Journal of Botany*, 128, 209-217.
35. Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J. & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571-577.
36. Moncada, A., Vetrano, F. & Miceli, A. (2020). Alleviation of salt stress by plant growth-promoting bacteria in hydroponic leaf lettuce. *Agronomy*, 10(10), 15-23.
37. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239-250.
38. Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., Arshad, M. & Shahzad, S.M. (2006). Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. *Soil & Environ*ment, 25(2), 78-84.
39. 39.Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M. & Arshad, M. (2007). Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through inoculation with rhizobacteria containing ACC deaminase activity. *Canadian Journal of Microbiology*, 53(10), 1141-1149.
40. Nadeem, S.M., Imran, M., Naveed, M., Khan, M.Y., Ahmad, M., Zahir, Z. A., & Crowley, D.E. (2017). Synergistic use of biochar, compost and plant growth-promoting rhizobacteria for enhancing cucumber growth under water deficit conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5139-5145.
41. Németh, M., Janda, T., Horváth, E., Páldi, E. & Szalai, G. (2002). Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science*, 162(4), 569-574.
42. Neocleous, D. & Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. 'Autumn Bliss'). *Scientia Horticulturae*, 112(3), 282-289.
43. Niu, S.W., Wang, N., Irfan, M., Xu, J.Y., Zhang, Y.J. & Cai, G.X. (2019). Effect of Fermentation Broth of Endophytic Fungi on Physiological and Biochemical Characteristics of Tomato Seedling Under Calcium Nitrate Stress. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43(4), 1427-1432.
44. 44.Ozen, T., Demirtas, I. & Aksit, H. (2011). Determination of antioxidant activities of various extracts and essential oil compositions of *Thymus praecox* subsp. skorpilii var. skorpilii. *Food Chemistry*, 124(1), 58-64.
45. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P. & Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research,* 22(6), 4056-4075.
46. Patel, P. J., Trivedi, G. R., Shah, R. K. & Saraf, M. (2018). Selenorhizobacteria: As biofortification tool in sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14, 198-203.
47. Radi, A. A., Farghaly, F. A. & Hamada, A. M. (2013). Physiological and biochemical responses of salt-tolerant and salt-sensitive wheat and bean cultivars to salinity. *Journal of Biology and Earth Sciences*, 3(1), 72-88.
48. Rostami Kia, Y. Little Tabari, M. Asgharzadeh, A. & Rahmani, A. (2017). The effect of growth-promoting bacteria on vegetative traits and nutrients of hazelnut seedlings (*Coryllus avellana* L.) in Ardabil hazelnut nurseries. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research,* 25(1), 116-126. (In Farsi).
49. Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S. & Bhatti, A.S. (2007). Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 34(10), 635-648.
50. Salehi, F., Aelaei, M., Mortazavi, S.N., Salami.S.A. & Rezadoost Chahardeh, H. (2022). Study of morphophysiological attributes of two saffron ecotypes treated with Bacillus subtilis under Zanjan climatic conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 53(1), 15-30. (in Farsi).
51. Seyed Sharifi, R., Moradi, L., Khomari, S. & Salim, f. (2018). The effect of seed inoculation with growth-promoting bacteria on germination components, sodium and potassium content of rye seedlings in soil salinity conditions, Congress for the Development of Regional Scientific Cooperation of Food Industry and Agriculture, 24 August. Mashhad Institute of Food Sciences and Industries, Mashhad. pp. 325-329. (In Farsi).
52. Sheikhalipour, M., Bolandndnazar, S.A., Sarikhani, M.A., Panahandeh, J. (2019). Effect of application of biofertilizers on yield, quality and antioxidant capacity of tomato fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 621-632. (in Farsi).

53. Taghi zadeh, M. & Solgi, M. (2014). Introduction of commercial protocol for *in vitro* propagation of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L.). *Horticultural Sciences*, 45(4), 484-475. (In Farsi).
54. Tang, X., Mu, X., Shao, H., Wang, H. & Brestic, M. (2015). Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 425-437.
55. Tavallali, V., Rahemi, M., Maftoun, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramezanian, A. & Vaezpour, M. (2009). Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Scientia Horticulturae*, 123(2), 272-279.
56. Trabelsi, L., Gargouri, K., Hassena, A. B., Mbadra, C., Ghrab, M., Ncube, B. & Gargouri, R. (2019). Impact of drought and salinity on olive water status and physiological performance in an arid climate. *Agricultural Water Management*, 213, 749-759.
57. Tuna, A. L., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I. & Yagmur, B. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 173-178.
58. Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J. & Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4), 523-539.
59. Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A. & Badakhshan, H. (2014). Effects of zinc application on growth, absorption and distribution of mineral nutrients under salinity stress in soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 37(14), 2255-2269.
60. Xiang-dong, X., Yan, S., Bo, S., Jian, Z. & Xiao-qin, G. (2010). Effects of exogenous melatonin on active oxygen metabolism of cucumber seedlings under high temperature stress. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 21(5), 125-126.
61. Xiaohui, F. A. N., Zhang, S., Xiaodan, M. O., Yuncong, L. I., Yuqing, F. U. & Zhiguang, L. I. U. (2017). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria and N source on plant growth and N and P uptake by tomato grown on calcareous soils. *Pedosphere*, 27(6), 1027-1036.
62. Yadav, S. P., Bharadwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K. & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants A Review. *International Journal of Communication Systems*, 7(2), 1793-1798.
63. Zafar-Ul-Hye, M., Mahmood, F., Danish, S., Hussain, S., Gul, M., Yaseen, R., & Shaaban, M. 2020. Evaluating efficacy of plant growth promoting rhizobacteria and potassium fertilizer on spinach growth under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, 52(4), 1441-1447.