

Effect of Salinity Stress, Trehalose and Endophytic fungus *Serendipita indica* on some Physiological and Biochemical Traits of tomato

Rahimeh Tork Dehnoo, Zahra Movahedi*, Mehdi Ghabooli 

Received: January 21, 2024

Accepted: May 21, 2024

1-Master's Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Malayer, Iran.

2-Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Malayer, Iran.

3-Assoc., Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Malayer, Iran.

*Corresponding Author Email: zahra_movahedi_312@yahoo.com

Abstract

Background & Objective: Abiotic-stress tolerance and plant growth enhancement can be evoked in crops by the exploitation of beneficial microorganisms. The effect of inoculation with *Serendipita indica* and trehalose on germination, growth and morphophysiological characteristics of tomato plant under salinity stress was the goal of the present experiment.

Materials & Methods: In this research, the interaction effect of *S. indica*, NaCl (0, 50 and 100 mM) and trehalose (0, 25 and 50 mM) on germination of tomato, also the interaction effect of *S. indica*, NaCl and trehalose in pot were investigated on morphophysiological traits of tomato according to a factorial experiment based on completely randomize design (CRD) with 3 replications in two independent experiments. In germination experiment, after disinfection, seeds were placed in spore of *S. indica* for 24 hours. Then, sodium chloride and trehalose treatments were applied to the inoculated plants. All treatments and control, were placed in a germinator at 25°C and 45% relative humidity, and germination and related traits were evaluated. In pot experiment, inoculation was performed 48 hours after sowing the seeds in the germinator. Then, the inoculated seeds were transferred to pots and salt stress and trehalose treatment were applied. After 60 days, the plants were harvested and morphophysiological traits were measured.

Results: In germination experiment the results of ANOVA showed that the main effects and interactions of salinity stress, *S. indica* and Tre were significant for all studied traits. The results of the mean comparison showed that salinity stress significantly decreased germination percentage, radical length, hypocotyl length, seedling dry weight, seedling fresh weight and K with increasing Na and phenol content. Meanwhile, *S. indica* and Tre treatments promoted germination parameter. The results indicate that the negative effects of NaCl on tomato plants were alleviated after *S. indica* inoculation and trehalose. Also in pot experiment, the results of analysis of variance showed that all studied traits were affected by salinity, *S. indica*, trehalose, and their interaction. The results of the mean comparison indicated that salinity stress significantly decreased biomass, relative water content, photosynthetic pigments and K with increasing catalase, electrolyte leakage, hydrogen peroxide, Na and proline content. Meanwhile, *S. indica* and Tre treatments promoted biomass and enhanced proline, K, catalase and photosynthetic pigments content under salt stress.

Conclusion: This study is novel in showing the salt adaptation of tomato plants by use of *S. indica* and Tre, which can be a promising strategy for improving salt tolerance.

Keywords: Abiotic Stress, Anti-Oxidant, Germination, Photosynthetic Pigments Morphological Traits



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2025 Zahra Movahedi Email: zahra_movahedi_312@yahoo.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.60198.3167>



اثر تنش شوری، ترهالوز و قارچ *Serendipita indica* بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی

رحیمه ترک دهنو^۱، زهرا موحدی^{۲*}، مهدی قبولی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱
--------------------------	-------------------------

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲-استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳-دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

*مسئول مکاتبه: Zahra_movahedi_312@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: همزیستی با میکروارگانیسم‌های مفید از جمله روش‌های بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی محسوب می‌شوند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر قارچ *Serendipita indica* و قند ترهالوز بر جوانه‌زنی، رشد و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، اثر تلفیقی قارچ *S. indica*، کلرید سدیم (شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و ترهالوز (شاهد، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) بر جوانه‌زنی گیاه گوجه‌فرنگی و و نیز اثر تلفیقی قارچ اندوفیت *S. indica*، کلرید سدیم (شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و ترهالوز (شاهد، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی در گلدان به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و در دو آزمایش جداگانه بررسی شده است. در آزمایش جوانه‌زنی، پس از ضدعفونی، بذرها به مدت ۲۴ ساعت در سوسپانسیون اسپور قارچ *S. indica* قرار داده شدند و سپس اعمال تیمار کلرید سدیم و ترهالوز روی گیاهان تلقیح شده انجام شد. تمامی تیمارها به علاوه شاهد در دمای ۲۵ درجه ژرمیناتور و رطوبت نسبی ۴۵ درصد گذاشته شدند و سپس جوانه‌زنی و صفات مرتبط با آن مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایش گلدانی پس از ۴۸ ساعت از کشت بذور در ژرمیناتور تلقیح صورت گرفت. سپس بذره‌ای تلقیح شده به گلدان منتقل شده و اعمال تنش شوری و تیمار ترهالوز انجام شد. پس از ۶۰ روز برداشت گیاهان صورت گرفته و صفات مورفوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: در آزمایش جوانه‌زنی، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل تنش شوری، قارچ اندوفیت *S. indica* و ترهالوز برای تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، طول ساقچه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه و میزان پتاسیم و افزایش سدیم و محتوای فنول گردید. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد ترهالوز و تلقیح با *S. indica* اثرات منفی تنش شوری را کاهش داده است. همچنین در آزمایش گلدانی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمام صفات مورد مطالعه تحت تاثیر شوری، قارچ *S. indica*، ترهالوز و اثر متقابل آنها قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش شوری با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، نشت الکترولیت، پراکسید هیدروژن، غلظت سدیم و پرولین به طور قابل‌توجهی باعث کاهش زیست توده،

محتوای نسبی آب، رنگدانه‌های فتوسنتزی و غلظت پتاسیم گردیده است. همچنین، تیمارهای *S. indica* و ترهالوز باعث افزایش زیست توده و افزایش محتوای پرولین، غلظت پتاسیم، فعالیت آنزیم کاتالاز و رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری شدند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که می‌توان سازگاری گیاه گوجه‌فرنگی به تنش شوری را با استفاده از *S. indica* و کاربرد ترهالوز افزایش داد که می‌تواند یک راهکار امیدوارکننده برای بهبود تحمل به تنش شوری باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدان، تنش غیرزیستی، جوانه‌زنی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، صفات مورفولوژیک

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی از مهمترین محصولات زراعی جهان در ارتباط با سلامت و تغذیه انسان به شمار می‌آید و منبعی سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی اکسیدانی بوده که در حال حاضر این سبزی ۲۵ درصد از کل تولیدات سبزی جهان را به‌خود اختصاص می‌دهد (ستین و یوگان ۲۰۰۸). به دلیل کمبود منابع آبی و یا وجود منابع آبی با کیفیت پایین، در تمام دنیا مدیریت تولید سبزیها تحت شرایط تنش شوری بسیار مورد توجه قرار گرفته است (ملاش و همکاران ۲۰۰۲). تنش شوری از عوامل مهم و تاثیرگذار در رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی است که افزایش شوری در آب آبیاری موجب کاهش چشمگیر عملکرد و ماده خشک در این گیاه می‌شود (اردلانی و همکاران ۲۰۱۷). از این رو، افزایش تحمل شوری در گیاه گوجه فرنگی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی مقرون به صرفه و بهره‌وری بیشتر ضروری است. گیاهان از طریق مسیرهای مختلف فیزیکی، بیوشیمیایی و مولکولی به تنش‌های غیرزیستی پاسخ می‌دهند. گیاهان استراتژی‌های مختلفی برای کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از ROS از جمله یک دستگاه دفاعی کارآمد شامل آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و غیرآنزیمی آنتی اکسیدانی دارند (وانگ و همکاران ۲۰۲۰). ترهالوز یک دی ساکارید غیر احیا کننده با عملکردهای چندگانه، یک ماده تنظیم کننده اسمزی است و اولین بار از قارچ ارگوت^۱ در گیاه چاودار کشف شد (المیدا و همکاران ۲۰۰۷). عملکرد ترکیباتی مانند قندها و نقش آنها در مسیرهای سیگنال دهی در گیاهان برای تعیین تاثیر آنها در کاهش اثرات

مضر ناشی از تنش‌های غیرزیستی هنوز مورد بحث است. قندها که به عنوان املاح سازگار عمل می‌کنند، نقش مهمی در تنظیم اسمزی سلولی دارند. ترهالوز به عنوان یک دی ساکارید غیر احیا کننده دارای توانایی قابل توجه برای تثبیت و محافظت از غشا و ماکرومولکول‌ها دارد. ترهالوز در موجودات مختلفی یافت شده و به سادگی توسط گیاهان جذب می‌شود (کوسار و همکاران ۲۰۱۹). گزارشات مختلفی مبنی بر اثر مثبت کاربرد خارجی ترهالوز در افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی وجود دارد (عبدالله و همکاران ۲۰۱۶؛ کابوسی و همکاران ۲۰۲۳). ترهالوز معمولاً با افزایش ظرفیت فتوسنتزی، فعالیت آنتی اکسیدان‌ها و افزایش قند محلول و کاهش نسبت سدیم به پتاسیم و بهبود کارایی مصرف آب باعث افزایش تحمل به تنش غیرزیستی می‌شود. همچنین احتمالاً ترهالوز در بیان ژن‌های درگیر در شرایط تنش نقش داشته و در نهایت موجب افزایش تحمل تنش می‌شود (پل و همکاران ۲۰۰۸).

کاربرد روش‌های بیولوژیک مانند قارچ‌های اندوفیت جهت افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله سرما، گرما، خشکسالی و شوری محققان را در نیل به کشاورزی پایدار امیدوارتر نموده است. یکی از قارچ‌های اندوفیت، به نام قارچ *Serendipita indica* (با نام قبلی *Piriformospora indica*) در سال ۱۹۹۸ توسط فردی به نام وارما و همکارانش در کشور هندوستان از خاک مناطق بیابانی جداسازی شد. این قارچ دارای گیاهان میزبان فراوانی است که با کلونیزاسیون ریشه گیاه میزبان باعث تحریک رشد آنها می‌گردد. *S. indica* با تعداد زیادی از گیاهان عالی (تک و دولپه‌ای) از جمله

اسپورهای قارچ تعداد آن‌ها با استفاده از لام نئوبار شمارش گردید.

آماده سازی و تلقیح بذر: ابتدا بذر گیاه گوجه‌فرنگی تهیه شد. ضدعفونی کردن بذر با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۵ دقیقه، سه بار شستشو با آب مقطر و سپس با الکل (اتانول ۷۰ درصد) به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی شده و مجدداً سه بار شستشو با آب مقطر انجام شد. در آزمایش جوانه‌زنی، پس از ضدعفونی، بذر به مدت ۲۴ ساعت در سوسپانسیون اسپور قرار داده شدند. بررسی میکروسکوپی ریشه‌ها نشان داد که درصد کلنیزاسیون ریشه حدود ۸۷ درصد بود و این نسبت برای گیاهان تلقیح نشده برابر با صفر بود و سپس اعمال تیمار کلرید سدیم و ترهالوز روی گیاهان تلقیح شده انجام شد. تمامی تیمارها به علاوه شاهد در دمای ۲۵ درجه ژرمیناتور (۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) و رطوبت نسبی ۴۵ درصد گذاشته شدند. ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش، شمارش تعداد بذرهای جوانه زده شروع شد و تا پایان آزمایش شمارش بذرهای جوانه زده در زمان مشخصی انجام شد و در این آزمایش صفات مرتبط با جوانه‌زنی همچون درصد جوانه‌زنی کل، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، میزان فنول، پتاسیم و سدیم ساقه‌چه مورد ارزیابی و محاسبه قرار گرفتند. برای سنجش وزن خشک، گیاهچه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. اندازه‌گیری فنول به روش فولین سیکالتو بر پایه میزان گالیک اسید در هر گرم وزن تر با استفاده از اسپکتوفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر انجام گرفت، سپس با استفاده از نمودار استاندارد میزان فنول نمونه به دست آمد (زو و یو ۲۰۰۴). اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم هم با دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد.

در کشت گلدانی پس از ۴۸ ساعت از کشت بذور در ژرمیناتور (در این زمان جوانه‌ها حدوداً نیم تا یک سانتی‌متر بودند) تلقیح صورت گرفت. به‌منظور تلقیح با اسپور، بذور جوانه زده با اندازه تقریباً یکسان، داخل ظرف یکبار مصرف حاوی سوسپانسیون اسپور قرار داده شده و به مدت ۳۰ دقیقه شیک شدند. بذرهای تلقیح

گیاهان خشکی‌پسند، بوته‌های یک‌ساله و چندساله و درختان چوبی رابطه همزیستی برقرار می‌نمایند (وارما و همکاران ۱۹۹۸؛ سینگ و همکاران ۲۰۰۸). این قارچ همچنین باعث تحریک رشد گیاه و افزایش بقا تحت تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند فلزات سنگین (گلستانی کیان و همکاران ۲۰۱۲)، خشکسالی (عزیزی و همکاران ۲۰۱۲)، شوری (عبدالعزیز و همکاران ۲۰۱۹) و سرما (کریمی و همکاران ۲۰۲۱) می‌شود.

گزارشات کمی در مورد کاربرد خارجی ترهالوز در بهبود تنش شوری و همچنین کاربرد همزمان قارچ *S. indica* و ترهالوز بر جوانه‌زنی و رشد گیاه گوجه‌فرنگی و بررسی توانایی آنها برای کاهش اثرات ناشی از تنش شوری از طریق بررسی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک وجود دارد. لذا با توجه به مطالب گفته شده هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر تلفیقی تنش شوری، ترهالوز و تلقیح با قارچ اندوفیت *Serendipita indica* بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوجه‌فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار بصورت دو آزمایش جداگانه در کشت خاکی و شرایط آزمایشگاهی روی جوانه‌زنی گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. بذر گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی اوربانا (*Solanum lycopersicum* CV. Early Urbana) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. استفاده از قارچ *S. indica* (شاهد و اسپور) به‌عنوان فاکتور اول، سطوح مختلف کلرید سدیم (شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) به عنوان فاکتور دوم و غلظت‌های مختلف ترهالوز (شاهد، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور سوم بود.

کشت قارچ و آماده سازی اسپور: جدایه قارچ *S. indica* مطابق با روش قبولی و همکاران (۲۰۱۳) در تعداد کافی پتری دیش محتوای محیط کشت پیچیده (حاوی عناصر میکرو، ماکرو، نمک‌ها، پیتون و عصاره مخمر)، کشت داده و در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد درون شیکر انکوباتور به مدت ۴ هفته نگهداری شد. پس از مدت‌زمان لازم جهت تولید اسپور، مقدار ۲۰-۳۰ میلی‌لیتر محلول آب توئین ۲۰ درصد (غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی/حجمی) به هر پتری دیش افزوده شد و پس از جمع‌آوری

شده به گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر منتقل شدند به طوری که داخل هر گلدان ۱۲ عدد بذر کشت داده شد. بستر کشت مخلوطی از شن رودخانه‌ای، کوکوپیت از قبل خیس شده، پرلایت، پیت ماس و ماسه بادی به ترتیب به نسبت حجمی ۱: ۱: ۲: ۴: ۵ بود. برای آبیاری نیز بعد از مرحله سه برگی یک روز درمیان به هر گلدان کود NPK (۲۰-۲۰-۲۰٪) که حاوی ۰/۵٪ منیزیم، ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهن، ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر روی، ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر منگنز، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مس، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بور و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مولیبدن بود و همچنین محلول کلرید سدیم (شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) به میزان ۷۰-۸۰ میلی‌لیتر اضافه شد. دو هفته پس از کشت به دلیل مشاهده علایم کمبود آهن، هر هفته ۵ سی سی کلات آهن به هر گلدان اضافه گردید. پس از ۶۰ روز برداشت گیاهان صورت گرفت. لازم به ذکر است که پارامترهای کمی شامل: سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، طول ریشه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی ۰/۲ گرم بافت تازه برگ در ۱۰ سی سی استون ۸۰٪ ساییده شده و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳، ۶۷۰ محاسبه گردید (آرنون ۱۹۶۷). سنجش نشت الکترولیت بر اساس روش بن حامد و همکاران (۲۰۰۷) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر بوته یک قطعه برگ در موقعیت یکسان روی بوته جدا و به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس قطعات برگی به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر در دمای اتاق قرار داده شد. هدایت الکتریکی عصاره آبی نمونه‌ها (EC_1) توسط دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو گردید و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت، شاخص نشت الکترولیت از فرمول $EL\% = (EC_1/EC_2) \times 100$ محاسبه گردید.

برای سنجش پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز نمونه‌ها از آخرین برگ توسعه یافته تهیه و پس از انجماد در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. جهت سنجش پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد.

۰/۵ گرم بافت تر در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد ساییده و همگن شد. دو میلی‌لیتر از عصاره صاف شده با دو میلی‌لیتر محلول نین هیدرین و دو میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال مخلوط شده و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از آن با قرار دادن لوله‌های آزمایش در حمام یخ واکنش مذکور پایان یافت. سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به محتویات هر لوله اضافه گردید و به مدت ۱۵ ثانیه به شدت هم زده شد. فاز رویی که شامل تولوئن و پرولین بود از فاز آبی جدا شد و جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس روش چانس و ملی (۱۹۵۵) مورد سنجش قرار گرفت. سنجش فعالیت آنزیم از طریق اندازه‌گیری تجزیه آب اکسیژنه توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای مدت زمان ۱ دقیقه انجام شد. اندازه‌گیری H_2O_2 به روش ولیکوا و لرتو (۲۰۰۵) انجام شد. ۵ میلی‌لیتر از محلول تری کلرو استیک اسید (TCA) به ۱/۰ گرم بافت برگ تازه و ساییده شده اضافه و با استفاده از کاغذ صافی فیلتر شد سپس به آن بافر یدید پتاسیم با اسیدیته ۷/۵ اضافه شد و جذب آن در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت گردید. عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر اندازه‌گیری شدند (گوپتا و گوپتا ۱۹۹۹). ابتدا ۰/۵ گرم از بافت خشک برگ با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ مخلوط کرده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در زیر هود روی هیتر با دمای حدود ۳۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا زمانی که دو میلی‌لیتر از محلول موردنظر باقی بماند. سپس دو میلی‌لیتر محلول باقیمانده با ۲۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و از کاغذ صافی عبور داده شدند و در نهایت به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم موجود در خاکستر گیاه به وسیله دستگاه فلیم فتومتر صورت گرفت. از روش واگنر (۱۹۷۹) جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی ساییده و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر نمونه اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و وزن برگ اشباع شده اندازه‌گیری شد، پس از آن برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک آن اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ بر اساس معادله زیر محاسبه گردید (ریچه و ناین ۱۹۹۰):

$$RWC = [(Fw - Dw) / (Sw - Dw)] \times 100$$

که در این رابطه Fw = وزن تر برگ، Dw = وزن

خشک برگ و Sw = وزن اشباع برگ می‌باشد.

آنالیز آماری بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد. جهت بیان تفاوت‌های آماری از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

تاثیر تیمارها بر پارامترهای جوانه‌زنی گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم، ترهالوز و قارچ برای

صفات درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، میزان فنول، غلظت سدیم و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و غلظت پتاسیم مربوط به تلقیح با قارچ، کاربرد ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز و در عدم حضور کلرید سدیم بوده و کمترین میزان شاخص‌های گفته شده در عدم کاربرد قارچ، ترهالوز و در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده گردید (جدول ۲ و ۳). همچنین نتایج نشان داد که غلظت سدیم و فنول گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری افزایش یافت (جدول ۳). تلقیح با قارچ و کاربرد ترهالوز باعث افزایش میزان فنول در گیاهان تحت تنش شوری شدند و بدین ترتیب اثرات منفی ناشی از تنش شوری را کاهش دادند. غلظت سدیم موجود در برگ گیاهان تلقیح شده با قارچ بصورت تنها و در ترکیب با ترهالوز که توانایی بیشتری در تحمل تنش شوری نشان دادند، نسبت به گیاهان شاهد کمتر بود (جدول ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری، ترهالو و تلقیح با قارچ *S. indica* بر درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه در آزمایش جوانه‌زنی

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه
اثر شوری (A)	۲	۸۴/۴**	۷/۶۵**	۵/۲**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
اثر ترهالوز (B)	۲	۱۷۴/۶**	۱۰/۶**	۲/۷۴**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
اثر قارچ (C)	۱	۲۲۰/۵**	۶/۳**	۴/۷**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
A×B	۴	۱۴۱/۹**	۸/۲**	۳/۳**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
A×C	۲	۸۲/۲**	۹/۱۶**	۴/۷۲**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
B×C	۲	۱۴۹/۵**	۱۲/۳**	۶/۱۴**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
A×B×C	۴	۹۶/۰۱**	۱۰/۳**	۵/۹۴**	<۰/۰۰۰۰**	<۰/۰۰۰۰**
خطا	۳۶	۷/۰۱	۰/۰۸۵	۰/۱۶	<۰/۰۰۰۰	<۰/۰۰۰۰
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۵۷	۴/۴	۷/۴	۲/۸	۳/۹

** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری، ترهالو و تلقیح با قارچ *S. indica* بر وزن تر و خشک ساقه‌چه، سدیم، پتاسیم و فنول در آزمایش جوانه‌زنی

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	سدیم	پتاسیم	فنول
اثر شوری (A)	۲	۰/۰۲۳**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۷**	۰/۰۳**	۰/۱۳**
اثر ترهالوز (B)	۲	۰/۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۲۵**	۰/۱۸**
اثر قارچ (C)	۱	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۵**
A×B	۴	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۱۴**	۰/۱۵**
A×C	۲	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۰۹۹**	۰/۰۱۱**	۰/۱۷**
B×C	۲	۰/۰۷۸**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۰۸۲**	۰/۰۴۴**	۰/۱۴**
A×B×C	۴	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۹**	۰/۱۲**
خطا	۳۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷**
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۹	۶/۹	۱۸/۲	۱۷/۶	۱۸/۱

** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.

جدول ۲- مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری، ترهالوز و قارچ *S. indica* بر درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه در آزمایش جوانه‌زنی

ترکیبات تیماری	درصد جوانه‌زنی (%)	طول ریشه‌چه (cm/seedling)	طول ساقه‌چه (cm/seedling)	وزن تر ساقه‌چه (g/seedling)	وزن خشک ساقه‌چه (g/seedling)
P ₀ T ₀ S ₀	۸۰/۷ cd	۷/۲ b-d	۵/۱ b	۰/۶۹۲۴ b	۰/۰۲۶۴ cd
P ₀ T ₀ S ₁	۵۸/۲ g	۵/۳ g	۴/۵ cd	۰/۵۷۱۲ e	۰/۰۲۴۳ ef
P ₀ T ₀ S ₂	۵۶/۹ g	۵/۲ g	۳/۵ e	۰/۴۹۱۲ h	۰/۰۱۹۳ h
P ₀ T ₁ S ₀	۸۳/۶ c	۷/۳ a-d	۵/۴ ab	۰/۷۱۵۱ b	۰/۰۲۷۷ bc
P ₀ T ₁ S ₁	۶۹/۴ ef	۶/۵ de	۴/۶ cd	۰/۶۱۸ d	۰/۰۲۵۶ c-e
P ₀ T ₁ S ₂	۶۰/۲ fg	۵/۶ f	۳/۷ e	۰/۵۱۱۲ h	۰/۰۲۰۲ gh
P ₀ T ₂ S ₀	۸۵/۷ c	۷/۴ a-c	۵/۴ ab	۰/۷۴۷۹ ab	۰/۰۲۸۰ bc
P ₀ T ₂ S ₁	۷۱/۸ e	۶/۶ de	۴/۷ c	۰/۶۳۹ cd	۰/۰۲۶۰ c-e
P ₀ T ₂ S ₂	۶۱/۳ fg	۵/۸ ef	۳/۸ de	۰/۵۴۱۷ gh	۰/۰۲۱۰ g
P ₁ T ₀ S ₀	۹۰/۳ b	۷/۶ ab	۵/۵ ab	۰/۷۵۰۶ a	۰/۰۲۸۱ bc
P ₁ T ₀ S ₁	۷۲/۲ e	۶/۶ de	۴/۸ c	۰/۶۴۵ cd	۰/۰۲۶۳ c-e
P ₁ T ₀ S ₂	۶۴/۳ f	۵/۷ ef	۳/۹ de	۰/۵۶۰۲ g	۰/۰۲۲۳ fg
P ₁ T ₁ S ₀	۹۲/۰۴ a	۷/۷ ab	۵/۶ a	۰/۷۵۲۴ a	۰/۰۳۰ ab
P ₁ T ₁ S ₁	۷۵/۴ de	۶/۷ c-e	۴/۹ bc	۰/۶۶۳۱ c	۰/۰۲۶۴ c-e
P ₁ T ₁ S ₂	۶۶/۲ f	۶/۴ de	۴/۱ d	۰/۵۸۱۳ g	۰/۰۲۳۹ e-g
P ₁ T ₂ S ₀	۹۸/۰۴ a	۷/۹ a	۵/۷ a	۰/۷۷۱۲ a	۰/۰۳۱ a
P ₁ T ₂ S ₁	۷۸/۲ d	۷/۱ b-d	۵/۰ b	۰/۶۸۳۲ bc	۰/۰۲۶۴ c-e
P ₁ T ₂ S ₂	۶۸/۳ ef	۶/۵ de	۴/۲ d	۰/۶۱۲۵ f	۰/۰۲۵۰ c-e

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

P₀ تلقیح نشده با قارچ، P₁ تلقیح شده با قارچ، T₀ صفر میلی‌مولار ترهالوز، T₁ ۲۵ میلی‌مولار ترهالوز، T₂ ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز، S₀ صفر میلی‌مولار کلرید سدیم، S₁ ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، S₂ ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم

تاثیر تیمارها بر صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه

شاخص‌های مورفولوژیک و RWC

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر متقابل سطوح مختلف کلرید سدیم، ترهالوز و قارچ بر طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، تعداد و سطح برگ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که رشد گیاهان تحت تنش شوری کاهش یافت. با این حال تلقیح گیاهان با قارچ باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و همچنین تعداد و سطح برگ شد. همچنین نتایج نشان داد که تیمار با ترهالوز باعث افزایش معنی‌دار صفات مورفولوژیک مورد مطالعه در این تحقیق گردیده است (جدول ۵ و ۶). کاربرد همزمان ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز و قارچ به ترتیب باعث افزایش ۵۳/۹۶، ۱۱۴/۴۲، ۱۴/۶۳ و ۵۱/۷۲ درصدی وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ساقه و طول ریشه در مقایسه با عدم کاربرد

ترهالوز و عدم تلقیح با قارچ در در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم شده است (جدول ۵ و ۶). در مجموع تیمار با ترهالوز و قارچ باعث افزایش رشد و زیست توده در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و کاهش اثرات منفی این تنش شده است. براساس نتایج بدست آمده، میزان محتوای آب نسبی در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد بدون تنش شوری کاهش یافته است. تلقیح با قارچ و کاربرد ترهالوز بصورت تنها و یا کاربرد همزمان تاثیر مثبتی روی میزان محتوای آب نسبی داشته است. تیمار با ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز و قارچ ۱۱ درصد میزان محتوای آب نسبی را در مقایسه با شاهد در شرایط عدم تنش شوری افزایش داد که البته تلقیح با قارچ و کاربرد ترهالوز اثرات منفی ناشی از تنش شوری روی محتوای آب نسبی برگ را نیز کاهش دادند (جدول ۷).

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری، ترهالوز و قارچ *S. indica* بر وزن تر و خشک ریشه‌چه، سدیم، پتاسیم و فنول در آزمایش جوانه‌زنی

ترکیبات تیماری	وزن تر ریشه‌چه (g/seedling)	وزن خشک ریشه‌چه (g/seedling)	فنول (mg/g DW)	پتاسیم (%)	سدیم (%)
P ₀ T ₀ S ₀	۰/۱۶۵۳ ab	۰/۰۰۷۹ bc	۰/۳۵ h	۰/۴۷ d	۰/۰۲۲ hi
P ₀ T ₀ S ₁	۰/۱۲۰۹ ef	۰/۰۰۶۱ e	۰/۲۸ g	۰/۳۰ gh	۰/۰۴۳ d
P ₀ T ₀ S ₂	۰/۰۹۸۵ g	۰/۰۰۵۷ f	۰/۴۳ d	۰/۱۱ i	۰/۱۲ a
P ₀ T ₁ S ₀	۰/۱۶۷۷ ab	۰/۰۰۸۱ bc	۰/۳۶ f	۰/۵۱ c	۰/۰۲۰ i
P ₀ T ₁ S ₁	۰/۱۲۷۲ d-f	۰/۰۰۶۳ e	۰/۴۶ cd	۰/۲۱ g	۰/۰۳۴ f
P ₀ T ₁ S ₂	۰/۱۰۲۲ f	۰/۰۰۶۲ e	۰/۴۷ cd	۰/۲۷ h	۰/۰۵۱ b
P ₀ T ₂ S ₀	۰/۱۷۶۶ a	۰/۰۰۸۶ b	۰/۳۶ f	۰/۵۴ bc	۰/۰۲۳ hi
P ₀ T ₂ S ₁	۰/۱۳۵۸ cde	۰/۰۰۶۷ d	۰/۴۹ c	۰/۳۵ f	۰/۰۳۱ g
P ₀ T ₂ S ₂	۰/۱۱۵۸ ef	۰/۰۰۶۴ de	۰/۵۱ c	۰/۲۹ gh	۰/۰۴۸ c
P ₁ T ₀ S ₀	۰/۱۸۰۵ a	۰/۰۰۸۹ ab	۰/۳۹ e	۰/۵۷ b	۰/۰۱۹ hi
P ₁ T ₀ S ₁	۰/۱۴۵۸ bcd	۰/۰۰۶۹ cd	۰/۵۲ bc	۰/۳۹ e	۰/۰۲۵ h
P ₁ T ₀ S ₂	۰/۱۲۰۵ ef	۰/۰۰۶۷ d	۰/۵۵ b	۰/۳۲ g	۰/۰۳۹ c
P ₁ T ₁ S ₀	۰/۱۸۱۹ a	۰/۰۰۹۱ a	۰/۴۱ e	۰/۵۹ ab	۰/۰۲۱ h
P ₁ T ₁ S ₁	۰/۱۵۰۴ bc	۰/۰۰۷۱ cd	۰/۵۳ bc	۰/۴۲ de	۰/۰۲۵ h
P ₁ T ₁ S ₂	۰/۱۲۵۲ d-f	۰/۰۰۶۸ d	۰/۵۷ b	۰/۳۸ e	۰/۰۲۹ g
P ₁ T ₂ S ₀	۰/۱۸۳۸ a	۰/۰۰۹۴ a	۰/۴۰ e	۰/۶۲ a	۰/۰۱۷ j
P ₁ T ₂ S ₁	۰/۱۵۹۶ ab	۰/۰۰۷۵ c	۰/۵۶ b	۰/۴۴ de	۰/۰۲۲ hi
P ₁ T ₂ S ₂	۰/۱۳۱۲ de	۰/۰۰۷۳ c	۰/۶۲ a	۰/۴۱ de	۰/۰۳۱ g

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

P₀ تلقیح نشده با قارچ، P₁ تلقیح شده با قارچ، T₀ صفر میلی‌مولار ترهالوز، T₁ ۲۵ میلی‌مولار ترهالوز، T₂ ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز، S₀ صفر میلی‌مولار کلرید سدیم، S₁ ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، S₂ ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم

رنگیزه‌های فتوسنتزی

تنش شوری باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای بر میزان کلروفیل شد. نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ بصورت تکی و یا بصورت ترکیب با ترهالوز بطور معنی‌داری سبب افزایش محتوای کلروفیل شده است. گیاهان تلقیح شده با قارچ و تیمار با ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز به ترتیب باعث افزایش ۱۲ و ۴۲ درصدی کلروفیل a و کلروفیل b در مقایسه با گیاهان شاهد بدون تنش شوری شده است (جدول ۶). علاوه بر این نتایج مشابهی نیز برای میزان کاروتنوئید بدست آمد. تلقیح با قارچ و بصورت تنها و یا در ترکیب با ترهالوز اثرات منفی ناشی از تنش شوری را کاهش داده و باعث افزایش میزان کاروتنوئید شده است. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت کلرید سدیم، میزان کاروتنوئید نیز کاهش یافته است. بیشترین القا برای میزان کاروتنوئید در تلقیح با قارچ و کاربرد ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز مشاهده می‌شود.

نشت الکترولیت (EL) و H_2O_2

نتایج نشان داد که میزان نشت الکترولیت تحت تنش شوری بطور معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۷). با این حال گیاهان تلقیح شده با قارچ و تیمار با ترهالوز میزان نشت الکترولیت کمتری در مقایسه با شاهد بدون قارچ و ترهالوز داشتند (جدول ۷). در گیاهان تلقیح شده با قارچ و کاربرد ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز میزان نشت الکترولیت ۲۸ درصد کمتر از گیاهان تلقیح نشده و عدم کاربرد ترهالوز در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود. بیشترین میزان نشت الکترولیت در گیاهان تلقیح نشده با قارچ و عدم کاربرد ترهالوز و در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نشان دهنده آسیب غشای سلولی تحت تنش شوری است. میزان H_2O_2 نیز در همه تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. تنش شوری باعث افزایش میزان H_2O_2 در همه تیمارها گردید (جدول ۷). با این حال H_2O_2 در گیاهان تلقیح شده با قارچ و تیمار شده با ترهالوز در مقایسه با شاهد بدون قارچ و ترهالوز در شرایط تنش شوری کمتر بود. کاربرد

همزمان قارچ و ترهالوز بیشترین تاثیر را در کاهش میزان H_2O_2 تحت شرایط تنش شوری داشتند (جدول ۷).

غلظت سدیم و پتاسیم

نتایج به دست آمده نشان دهنده آن است که همگام با افزایش شوری، غلظت سدیم اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه افزایش می‌یابد. علیرغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت سدیم اندام هوایی گیاهان شاهد و تلقیح شده با قارچ و همچنین تیمار شده با ترهالوز در شرایط عدم کاربرد کلرید سدیم، اختلاف این تیمارها در شرایط تنش شوری معنی‌دار می‌باشد. بدین‌صورت که غلظت سدیم اندام هوایی گیاهان شاهد تلقیح نشده با قارچ و تیمار نشده با ترهالوز در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب حدود ۲۳ و ۷ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح شده با قارچ و تیمار شده با ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز است (جدول ۷).

غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاهان شاهد (بدون قارچ و بدون ترهالوز) در شرایط عدم تنش شوری کمتر از گیاهان تلقیح یافته با قارچ و تیمار شده با ترهالوز بود. اعمال تنش شوری موجب شد تا غلظت پتاسیم اندام هوایی کاهش یابد. مطابق جدول ۷، غلظت پتاسیم گیاهان تلقیح شده با قارچ و تیمار شده با ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز در شرایط ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به گیاهان تلقیح نشده با قارچ و تیمار نشده در همان سطح تنش شوری ۲۸ درصد بیشتر می‌باشد.

فعالیت آنزیم کاتالاز

آنزیم‌های آنتی اکسیدانی بطور مستقیم در مهار ROS نقش دارند، از این رو در تحقیق حاضر رابطه بین تنش شوری، تلقیح با قارچ و تیمار با ترهالوز و فعالیت آنزیم کاتالاز مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش شوری منبع مهمی برای تغییر فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تیمار شده و تیمار نشده می‌باشد که فعالیت آنها تحت تاثیر تنش شوری افزایش یافت.

تحت شرایط تنش شوری، گیاهان تلقیح شده با قارچ افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم کاتالاز نشان دادند.

از طرف دیگر، تیمار با ترهالوز چه بصورت تکی و چه بصورت همزمان با قارچ بطور قابل توجهی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش دادند. حداکثر فعالیت آنزیم کاتالاز ($453/3 \Delta OD_{240} \text{ min}^{-1}/g \text{ FW}$) در کاربرد همزمان ۵۰ میلی مولار ترهالوز و در گیاهان تلقیح شده با قارچ در شرایط ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۷).

محتوای پرولین و آنتوسیانین

همچنین نتایج نشان داد که سطوح مختلف تنش شوری میزان پرولین را افزایش داد. در مقایسه با گیاهان

تیمار نشده، گیاهان تلقیح شده با قارچ و تیمار شده با ترهالوز، میزان پرولین بیشتر بود (جدول ۷). بالاترین سطح پرولین در گیاهان تلقیح شده با قارچ و ۵۰ میلی مولار ترهالوز در شرایط ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده، محتوای آنتوسیانین بطور معنی داری تحت تاثیر تنش شوری افزایش یافت. بیشترین میزان آنتوسیانین را غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم و عدم تلقیح با قارچ و عدم کاربرد ترهالوز داشت (جدول ۶). کاربرد ترهالوز و تلقیح با قارچ باعث کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری گردید.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری، ترهالو و تلقیح با قارچ *S. indica* بر طول ریشه و ساقه، تعداد و سطح برگ در آزمایش گلدانی

میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	طول ریشه	طول ساقه	تعداد برگ	سطح برگ
اثر شوری (A)	۲	۸۷/۷۹**	۱۱۴/۳۵**	۲۰۴/۴**	۲۸۸۹۵۳/۰۴**
اثر ترهالوز (B)	۲	۷۱/۰۱**	۸۶/۷۹**	۱۱۷/۲**	۹۲۸۰۴۶/۷**
اثر قارچ (C)	۱	۲۱۲/۰۱**	۹۵/۱۳**	۲۲۸/۱**	۵۶۲۴۲۷/۸۹**
A×B	۴	۸۲/۷۶**	۱۱۲/۹**	۳۳۴/۰۱**	۱۹۵۰۷۸/۳**
A×C	۲	۱۷۵/۵**	۷۴/۲۴**	۱۶۴/۳**	۹۵۸۰۱۹/۹**
B×C	۲	۱۲۲/۲**	۸۷/۱۳**	۱۵۰۴/۰۵**	۴۷۴۴۹۷/۶**
A×B×C	۴	۱۰۱/۰۴**	۹۲/۲۹**	۳۴۲/۶**	۴۲۳۴۰۰/۶**
خطا	۳۶	۹/۹۳	۶/۳۵	۲۱/۱	۵۴۸۲/۵
ضریب تغییرات (%)	-	۱۳/۴	۵/۱۴	۶/۲	۱/۹

** و n.s به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری، ترهالو و تلقیح با قارچ *S. indica* بر وزن تر

میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
اثر شوری (A)	۲	۲۸/۵**	۲/۶۵**	۱۶۲۷/۸**	۴۵/۶**
اثر ترهالوز (B)	۲	۲۲/۹**	۳/۸۵**	۵۲۹/۵**	۳۹/۳**
اثر قارچ (C)	۱	۳۵/۱**	۵/۹۵**	۳۳۱/۹**	۶۲/۶**
A×B	۴	۵۴/۶**	۱/۸۲**	۸۴۹/۷**	۲۰/۰۱**
A×C	۲	۲۹/۷**	۱/۹۷**	۱۷۲/۷**	۳۲/۰۲**
B×C	۲	۵۶/۸**	۴/۳۲**	۴۳۷/۳**	۲۶/۵**
A×B×C	۴	۳۹/۸۶**	۲/۷۶**	۶۸۳/۱**	۲۷/۶**
خطا	۳۶	۲/۱۴	۰/۱۶	۳۶/۵	۲/۱۵
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۳	۱۶/۱	۶/۷	۱۲/۳

** و n.s به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی داری است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری، ترهالو و تلقیح با قارچ *S. indica* بر پیتاسیم، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین در آزمایش گلدانی

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	پیتاسیم	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آنتوسیانین
اثر شوری (A)	۲	۰/۱۸**	۰/۱۱۲**	۶/۶۴۶**	۱/۰۷**	۸/۲۵**
اثر ترهالوز (B)	۲	۰/۱۴**	۰/۱۵۳**	۸/۲۱**	۱/۲۶**	۹/۲۶**
اثر قارچ (C)	۱	۰/۱۵**	۰/۱۴**	۹/۹۴**	۱/۷۲**	۸/۰۲**
A×B	۴	۰/۲۸**	۰/۱۶۲**	۸/۷۰۸**	۱/۳۲**	۱۰/۳۸**
A×C	۲	۰/۳۴**	۰/۱۷۳**	۵/۳۱**	۲/۳۲**	۱۵/۲۲**
B×C	۲	۰/۲۵**	۰/۱۱۸**	۹/۱۹۸**	۲/۰۱**	۱۱/۳۳**
A×B×C	۴	۰/۲۳**	۰/۱۶۵**	۷/۱۴۸**	۱/۹**	۱۳/۲۸**
خطا	۳۶	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۷	۰/۲۴	۰/۰۲۲	۰/۲۵
ضریب تغییرات (%)	–	۱۷/۶	۷/۳	۱۹/۵	۹/۴	۱۱/۹

** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف شوری، ترهالو و تلقیح با قارچ *S. indica* بر محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت، پراکسید هیدروژن، پرولین و کاتالاز در آزمایش گلدانی

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	RWC	H ₂ O ₂	EL	پرولین	کاتالاز
اثر شوری (A)	۲	۸۵/۴**	۰/۷۲**	۵۲/۷**	۰/۱۶**	۹۳۵/۱۲**
اثر ترهالوز (B)	۲	۱۹۳/۳**	۰/۸۴**	۳۵/۲**	۰/۸**	۱۲۱۵/۲۳**
اثر قارچ (C)	۱	۹۲/۰۸**	۰/۹۲**	۲۲/۸۱**	۰/۶**	۱۸۴۳/۲**
A×B	۴	۱۰۸/۱۸**	۰/۶۴**	۱۷/۱۷**	۰/۳۴**	۲۱۷۴/۸**
A×C	۲	۱۲۱/۲**	۰/۸۷**	۱۵/۹**	۰/۱۱**	۱۳۳۴/۷**
B×C	۲	۱۸۲/۴**	۱/۱**	۲۱/۶۳**	۰/۱۲**	۱۵۱۴/۲**
A×B×C	۴	۱۱۲/۴**	۰/۶۲**	۱۴/۶۱**	۰/۱۳**	۱۲۲۷/۱**
خطا	۳۶	۶/۸۸	۰/۰۱۴	۱/۸۵	۰/۰۱۲	۷۸/۸
ضریب تغییرات (%)	–	۳/۷	۱۹/۱	۵/۷	۱۳/۲	۲/۸

** و n.s به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری است.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری، ترهالوز و قارچ *S. indica* بر طول ریشه، طول ساقه، تعداد و سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه در آزمایش گلدانی

ترکیبات تیماری	طول ریشه (cm/plant)	طول ساقه (cm/plant)	تعداد برگ (N/plant)	سطح برگ (cm ² /plant)	وزن تر ریشه (g/plant)	وزن خشک ریشه (g/plant)
P ₀ T ₀ S ₀	۲۴/۵۳ c	۵۱/۳ bc	۱۰۳/۳ b	۷۶۴۸/۲ ab	۱۷/۷ bc	۳/۰۷ a-d
P ₀ T ₀ S ₁	۲۱/۶۷ c	۴۷/۶ b-f	۹۰ d	۶۲۲۶/۴ cde	۱۴/۵ ef	۲/۲۴ e-h
P ₀ T ₀ S ₂	۱۴/۵ e	۴۱ g	۷۰/۱ g	۴۶۴۸/۴ e	۷/۴۵ g	۱/۰۴ i
P ₀ T ₁ S ₀	۲۵ c	۵۱/۶ abc	۱۰۳/۶ b	۷۷۷۸/۱ ab	۱۷/۸ bc	۳/۲۲ abc
P ₀ T ₁ S ₁	۲۱/۶۷ c	۴۸/۳ a-f	۹۱/۳ d	۶۵۴۶/۸ bcd	۱۴/۶ ef	۲/۲۸ e-h
P ₀ T ₁ S ₂	۱۸/۲ d	۴۵/۶ f	۷۴/۳ f	۵۱۶۰/۶ de	۱۱/۲ fg	۱/۶۴ h
P ₀ T ₂ S ₀	۲۵/۲ bc	۵۲ ab	۱۰۶ b	۷۷۹۴/۶ b	۱۸/۱ b	۳/۲۳ abc
P ₀ T ₂ S ₁	۲۲ c	۴۹/۱ a-f	۹۵ c	۷۴۰۲/۰۸ abc	۱۵/۱ c-e	۲/۴۷ d-g
P ₀ T ₂ S ₂	۲۱ c	۴۶/۳ ef	۷۵/۶ f	۵۳۵۸/۳ de	۱۱/۹ fg	۱/۷۶ gh
P ₁ T ₀ S ₀	۲۶/۳ bc	۵۲/۳ ab	۱۰۶/۶ b	۸۲۸۵/۶ a	۲۱/۳ a	۳/۳ ab
P ₁ T ₀ S ₁	۲۲/۶۷ c	۴۹/۳ a-f	۹۴/۹ c	۷۵۳۰/۳ abc	۱۵/۳ c-e	۲/۵۳ c-g
P ₁ T ₀ S ₂	۲۱/۵ c	۴۶/۳ d-f	۸۱/۶ e	۵۵۰۷/۶ de	۱۲/۶ fg	۱/۷۸ h
P ₁ T ₁ S ₀	۳۰/۶ b	۵۳/۱ a	۱۱۴/۶ a	۸۳۰۵/۱ a	۲۱/۹ a	۳/۵۸ a
P ₁ T ₁ S ₁	۲۴ c	۵۰/۶ a-e	۹۷/۶ c	۷۶۲۲/۰۱ ab	۱۵/۶ b-d	۲/۵۸ b-f
P ₁ T ₁ S ₂	۲۱/۶۷ c	۴۶/۳ d-f	۸۹/۳ d	۵۵۷۵/۵ de	۱۲/۷ e-g	۱/۸۷ fh
P ₁ T ₂ S ₀	۳۷/۶ a	۵۳/۲ a	۱۱۸/۶ a	۸۳۲۲/۹ a	۲۲/۵ a	۳/۶۸ a
P ₁ T ₂ S ₁	۲۴/۳ c	۵۱ a-d	۹۸/۶ c	۷۶۴۸/۲ ab	۱۶/۲ b-d	۲/۷۸ b-e
P ₁ T ₂ S ₂	۲۲ c	۴۷ c-f	۸۹/۶ d	۵۸۴۲/۴ de	۱۳/۷۹ e-g	۲/۲۳ e-h

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

P₀ تلقیح نشده با قارچ، P₁ تلقیح شده با قارچ، T₀ صفر میلی‌مولار ترهالوز، T₁ ۲۵ میلی‌مولار ترهالوز، T₂ ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز، S₀ صفر میلی‌مولار کلرید سدیم، S₁ ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، S₂ ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری، ترهالوز و قارچ *S. indica* بر وزن تر و خشک ساقه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنتوسیانین در آزمایش گلدانی

ترکیبات تیماری	کلروفیل a (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	کاروتنوئید (mg/g FW)	آنتوسیانین (mmol/g FW)	وزن تر اندام هوایی (g/plant)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)
P ₀ T ₀ S ₀	۱/۱۸۳ a-d	۲/۵۲ cd	۱/۶۴ c	۴/۲ de	۹۰/۹ c-e	۱۳/۲ ab
P ₀ T ₀ S ₁	۱/۰۹۲ b-d	۲/۴۲ cd	۱/۴۲ g	۵/۵ b	۸۷/۷ de	۱۱/۹ b-e
P ₀ T ₀ S ₂	۰/۸۴ e	۱/۷ f	۱/۲۲ i	۶/۸ a	۴۷/۸ g	۶/۶۹ f
P ₀ T ₁ S ₀	۱/۲۰۲ abc	۲/۷۳ bc	۱/۶۲ c	۴/۱ de	۱۰۰/۲ abc	۱۳/۶ ab
P ₀ T ₁ S ₁	۱/۱۰ b-d	۲/۳۹ cd	۱/۵۳ e	۴/۲ de	۸۸/۱ de	۱۲/۱۷ a-e
P ₀ T ₁ S ₂	۱/۰۲ d	۲/۰۱ e	۱/۳۸ h	۴/۹ c	۷۴/۵ f	۹/۴ e
P ₀ T ₂ S ₀	۱/۲۲ abc	۲/۷۸ bc	۱/۶۵ c	۳/۹ f	۱۰۱/۱ abc	۱۳/۷ ab
P ₀ T ₂ S ₁	۱/۱۱ b-d	۲/۴۴ cd	۱/۵۹ d	۴/۱ de	۹۵/۳ b-e	۱۲/۳۱ abc
P ₀ T ₂ S ₂	۱/۰۳ cd	۲/۱۴ e	۱/۴۲ g	۴/۶ cd	۷۵/۶ f	۹/۷ de
P ₁ T ₀ S ₀	۱/۲۵ ab	۲/۸۲ bc	۱/۶۹ bc	۳/۸ f	۱۰۵/۳ a	۱۳/۸ ab
P ₁ T ₀ S ₁	۱/۱۶۶ a-d	۲/۴۴ cd	۱/۶۱ cd	۴/۲ de	۹۶/۳ b-d	۱۲/۵۶ abc
P ₁ T ₀ S ₂	۱/۰۶۵ cd	۲/۲۵ d	۱/۴۸ f	۴/۵ d	۷۶/۳ f	۱۰/۰۱ c-e
P ₁ T ₁ S ₀	۱/۳۳ a	۳/۰۷ b	۱/۷۱ b	۳/۵ g	۱۰۸/۵ a	۱۴/۳ ab
P ₁ T ₁ S ₁	۱/۱۷۶ a-d	۲/۴۸ cd	۱/۶۸ bc	۳/۷ f	۹۶/۴ b-d	۱۲/۷۵ abc
P ₁ T ₁ S ₂	۱/۰۶۹ cd	۲/۳۴ d	۱/۵۳ e	۴/۳ de	۷۶/۸ f	۱۰/۲ c-e
P ₁ T ₂ S ₀	۱/۳۳ a	۳/۵۹ a	۱/۸۲ a	۳/۲ h	۱۰۹/۳ a	۱۴/۹ a
P ₁ T ₂ S ₁	۱/۱۷۷ a-d	۲/۵ cd	۱/۷۳ b	۳/۶ g	۹۸/۲ a-d	۱۲/۷۸ abc
P ₁ T ₂ S ₂	۱/۰۸۴ cd	۲/۳۹ cd	۱/۵۴ e	۴/۰۰ e	۸۴/۷ e	۱۰/۳ c-e

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

P₀ تلقیح نشده با قارچ، P₁ تلقیح شده با قارچ، T₀ صفر میلی‌مولار ترهالوز، T₁ ۲۵ میلی‌مولار ترهالوز، T₂ ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز، S₀ صفر میلی‌مولار کلرید سدیم، S₁ ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، S₂ ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیرات تنش شوری، ترهالوز و قارچ *S. indica* بر سدیم، پتاسیم، محتوای آب

ترکیبات تیماری	پتاسیم (%)	سدیم (%)	RWC (%)	EL (%)	H ₂ O ₂ (μmol/g FW) (FW. min)	پروکسید (μmol/g FW)	کاتالاز (ΔOD ₂₄₀) (min ⁻¹ /g FW)
P ₀ T ₀ S ₀	۰/۳۵ ab	۰/۰۶۸ ef	۷۴/۷۴ cde	۱۳/۷ g	۰/۱۲ i	۰/۲۱ f	۱۵۳/۲ h
P ₀ T ₀ S ₁	۰/۲۷ b-c	۰/۰۸۵ abc	۷۱/۸۱ e-g	۳۱/۱ c	۱/۱ a	۰/۷۴ e	۱۹۴/۱ g
P ₀ T ₀ S ₂	۰/۲۱ f	۰/۰۹۳ a	۵۴/۲ i	۳۵/۲ a	۱/۳ a	۰/۹۹ d	۲۲۰/۲ g
P ₀ T ₁ S ₀	۰/۳۶ ab	۰/۰۶۷ ef	۷۶/۲ bcd	۱۳/۲ g	۰/۱۳ i	۰/۲۲ f	۲۷۴/۳ f
P ₀ T ₁ S ₁	۰/۳۱ a-e	۰/۰۸۴ bc	۷۲/۰۲ e-g	۲۹/۵ c	۰/۹۸ b	۰/۹۴ d	۳۱۵/۵ e
P ₀ T ₁ S ₂	۰/۲۳ c	۰/۰۹۲ ab	۵۹/۳ h	۳۳/۲ b	۱/۲ a	۱/۰۲ d	۳۶۴/۲ d
P ₀ T ₂ S ₀	۰/۳۶ ab	۰/۰۶۵ ef	۷۶/۵ bcd	۱۳/۳ g	۰/۱۱ i	۰/۲۰ f	۳۰۰/۳ e
P ₀ T ₂ S ₁	۰/۳۲ abc	۰/۰۷۹ cd	۷۲/۱ c-f	۲۷/۹ d	۰/۸۲ c	۱/۰۷ d	۳۴۳/۲ d
P ₀ T ₂ S ₂	۰/۲۴ de	۰/۰۹۱ ab	۶۰/۱ gh	۳۱/۳ c	۰/۹۵ b	۱/۱۱ d	۳۸۲/۱ c
P ₁ T ₀ S ₀	۰/۴۱ Ab	۰/۰۶۵ ef	۷۶/۹ bc	۱۳/۶ g	۰/۱۲ i	۰/۲۲ f	۲۳۲/۸ fg
P ₁ T ₀ S ₁	۰/۳۳ Abc	۰/۰۷۳ de	۷۴/۰۴ cde	۲۶/۸ e	۰/۷۱ e	۱/۱۸ c	۲۶۴/۲ f
P ₁ T ₀ S ₂	۰/۲۵ c-e	۰/۰۹ ab	۶۲/۲ g	۳۰/۱ c	۰/۸۴ c	۱/۲۲ c	۳۹۵/۱ c
P ₁ T ₁ S ₀	۰/۴۱ ab	۰/۰۶۴ ef	۷۹/۷ ab	۱۳/۵ g	۰/۱۳ i	۰/۱۹ f	۲۷۲/۳ f
P ₁ T ₁ S ₁	۰/۳۲ abc	۰/۰۷ ef	۷۴/۲۹ cde	۲۶/۱ e	۰/۵۴ g	۱/۲۷ b	۳۲۶/۴ d
P ₁ T ₁ S ₂	۰/۲۶ c-e	۰/۰۸۸ c	۶۴/۲ g	۲۸/۲ d	۰/۷۸ d	۱/۳۷ b	۴۲۴/۲ b
P ₁ T ₂ S ₀	۰/۴۲ a	۰/۰۶۳ f	۸۳/۲ a	۱۳/۱ g	۰/۱۱ i	۰/۲۱ f	۳۹۴/۲ c
P ₁ T ₂ S ₁	۰/۳۵ abc	۰/۰۶۹ ef	۷۴/۴۷ cde	۲۱/۱ f	۰/۴۵ h	۱/۳۲ ab	۴۱۶/۷ b
P ₁ T ₂ S ₂	۰/۲۷ c-e	۰/۰۸۷ abc	۷۰/۰۹ e-g	۲۵/۳ e	۰/۶۲ f	۱/۴۲ a	۴۵۳/۳ a

میانگین‌هایی که در یک ستون حروف مشابهی دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

P₀ تلقیح نشده با قارچ، P₁ تلقیح شده با قارچ، T₀ صفر میلی‌مولار ترهالوز، T₁ ۲۵ میلی‌مولار ترهالوز، T₂ ۵۰ میلی‌مولار ترهالوز، S₀ صفر میلی‌مولار کلرید سدیم، S₁ ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، S₂ ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم

بحث

تنش شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و نمو و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین مطالعه تاثیرات این تنش روی رشد و نمو و همچنین مکانیسم دفاعی گیاه برای مقابله با ضررهای احتمالی ناشی از تنش شوری بسیار مهم می‌باشد. نتایج مربوط به درصد جوانه‌زنی نشان داد که تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی شده است. کاهش درصد جوانه‌زنی تحت تنش شوری در مطالعات مختلفی گزارش شده است (سبک خیز و همکاران ۲۰۱۴). از طرفی کاربرد قارچ *S. indica* و ترهالوز باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و کاهش اثرات منفی تنش شوری شده است. در فلفل قرمز، کلم، خیار، بادمجان، ذرت، بامیه، اسفناج، برنج و تنباکو تحت تاثیر تلقیح با قارچ *S. indica* درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافته است (اتری و همکاران ۲۰۱۸؛ برازنی و همکاران، ۲۰۰۵؛ وارما و همکاران ۲۰۱۲؛ جیشا و همکاران ۲۰۱۹)

که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. تاثیر مثبت ترهالوز بر جوانه‌زنی نیز در گیاه خیار گزارش گردیده است (هنگ و همکاران ۲۰۲۳).

میزان زیست توده در گیاهان تلقیح شده با قارچ *S. indica* در آزمایش جوانه‌زنی و همچنین در آزمایش گلدانی افزایش داشته است. مطالعات نشان داده است که تلقیح گیاهان با قارچ *S. indica* سبب افزایش تولید هورمون سیتوکینین شده که این مساله می‌تواند دلیل احتمالی افزایش زیست توده در گیاهان تلقیح شده باشد (احمدوند و حاجی نیا ۲۰۱۸). علاوه بر این، گیاهان تلقیح شده با قارچ، زیست توده ریشه بیشتری در هر دو آزمایش جوانه‌زنی و گلدانی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده داشتند. تحقیقات نشان داده که قارچ *S. indica* بیوسنتز اکسین را فعال می‌کند و شاید این دلیل اصلی افزایش زیست توده ریشه در گیاهان کلونیزه است (سو همکاران ۲۰۱۷). بهبود سیستم ریشه در گیاهان تلقیح شده موجب افزایش سرعت جذب آب و مواد مغذی شده

که به نوبه خود باعث افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی می‌شود (سو و همکاران ۲۰۱۷). در مطالعه حاضر، زیست توده ریشه و اندام هوایی گیاهان تیمار شده با ترهالوز بیشتر از گیاهان تیمار نشده بودند که این نتایج با یافته‌های سایر محققان مبنی بر کاربرد ترهالوز برای کاهش اثرات منفی تنش شوری روی رشد و عملکرد گیاه تطابق دارد (چانگ و همکاران ۲۰۱۴؛ روحمن و همکاران ۲۰۱۹؛ نواز و همکاران ۲۰۲۲).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین طول ریشه و ساقه از فاکتورهایی بود که تحت تنش شوری کاهش یافت که علت این امر را می‌توان به اثرات اسمزی ناشی از حضور نمک دانست که جذب آب توسط ریشه را محدود می‌سازد (اکبری و همکاران ۲۰۱۰). همچنین نتایج این مطالعه افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه در مرحله جوانه‌زنی و افزایش طول ریشه و ساقه در مرحله گیاهچه‌ای در گیاهان تلقیح شده با *S. indica* در مقایسه با گیاهان شاهد نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات مهری و همکاران (۲۰۲۳) و محمودی و همکاران (۲۰۲۳) در زمینه تأثیر معنی‌دار قارچ *S. indica* بر طول ریشه و ساقه مطابقت داشت. مطالعات نشان داده است که تلقیح گیاهان با قارچ *S. indica* سبب افزایش تولید هورمون‌های اکسین و سیتوکینین شده که به دنبال آن سبب افزایش تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها می‌گردد همچنین این قارچ سبب افزایش قدرت جذب در گیاهان می‌شود (سیرنبرگ ۲۰۰۷؛ هارتلی و جانگ ۲۰۰۹). نتایج این مطالعه افزایش طول اندام هوایی و ریشه تحت تاثیر ترهالوز را نشان داد. در تحقیقی روی برنج نتایج نشان داد که کاربرد ترهالوز سبب افزایش طول بخش هوایی گردیده و باعث کاهش اثرات منفی ناشی از شوری روی طول ساقه شده است (عبدالله و همکاران ۲۰۱۶).

نتایج بدست آمده نشان داد که RWC در گیاهان تلقیح شده با قارچ افزایش داشته است. هیف‌های *S. indica* ممکن است با افزایش سطح جذب از سطح وسیعی از خاک، جذب آب را افزایش دهند. به طور کلی، گیاهان غیر تلقیح شده دارای ریشه‌های صاف و سطوح ساده هستند در حالی که گیاهان کلنیزه شده سطح جذب بالاتری داشته و این به گیاهان میزبان امکان جذب بهتر آب و

مواد معدنی را ارائه می‌دهد (پراساد و همکاران ۲۰۱۳). از طرف دیگر نتایج نشان داد که کاربرد ترهالوز و ترکیب آن با قارچ میزان RWC را افزایش داد. قندهای محلول نقش مهمی در حفظ محتوای آب برگ دارند و به تنظیم تعادل اسمزی در زمان تنش‌های غیر زنده کمک می‌کنند که یکی از این قندها ترهالوز است که می‌تواند از ماکرومولکول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از دهیدراته شدن محافظت کند. علاوه بر این، یک تعامل نزدیک بین هورمون‌های مختلف گیاهان و قندهایی مانند ترهالوز وجود دارد که می‌تواند روی ساختار ریشه گیاه تاثیر بگذارد (ساکسنا و همکاران ۲۰۲۰). انباشت ترهالوز یک راهکار برای حفظ پتانسیل آب در گیاه می‌باشد. بنابراین کاربرد ترهالوز می‌تواند بطور معنی‌داری تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی را افزایش دهد اکرم و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که در گیاه تربچه کاربرد ترهالوز بطور معنی‌داری کارایی مصرف آب را افزایش داد.

میزان کلروفیل تحت تنش شوری کاهش یافت که این مساله ممکن است به دلیل کاهش میزان کلروفیل جذب کننده نور، محدودیت در انتقال الکترون و تولید بیش از حد ROS باشد در حالی که، تلقیح با قارچ، کاربرد ترهالوز و ترکیب آنها از سیستم فتوسنتزی در برابر اثر نامطلوب تنش شوری محافظت می‌کند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که تلقیح با *S. indica* اثر محرکی روی میزان کلروفیل و کاروتنوئید بخصوص تحت تنش‌های غیر زنده دارد (قبولی و همکاران ۲۰۲۰). این قارچ اندوفیت میزان فتوسنتز را تحت شرایط تنش توسط مکانیسم‌های مختلفی از جمله تغییر ویژگی‌های برگ و کلروپلاست و ارتقاء ظرفیت آنتی اکسیدانی افزایش می‌دهد. در مطالعه حاضر، ترهالوز به تنهایی و در ترکیب با *S. indica* محتوای کلروفیل و کاروتنوئید را افزایش داد. قندها مستقیماً سنتز اکسین و سیتوکینین را افزایش داده و و این هورمون‌ها با افزایش محتوای کلروفیل، فرآیند فتوسنتز را تقویت می‌کنند (ساکسنا و همکاران ۲۰۲۰). علی و اشرف (۲۰۱۱) نشان دادند که کاربرد ترهالوز میزان فتوسنتز در ذرت را افزایش داده است. ترهالوز احتمالاً فتوسنتز را بوسیله افزایش فعالیت روبیسکو و میزان کلروفیل افزایش می‌دهد. بین میزان در دسترس

بودن قند و سطح سیتوکینین همبستگی وجود دارد که این مساله ممکن است فتوسنتز را افزایش دهد. در این مطالعه رابطه مثبتی بین ترهالوز و میزان کاروتنوئید وجود دارد. افزایش میزان کاروتنوئید در گیاهان گوجه‌فرنگی که با ترهالوز تیمار شده‌اند، می‌تواند ظرفیت آنها را برای کاهش اثرات مخرب ایجاد شده توسط ROS افزایش دهد که به دنبال آن محتوای کلروفیل نیز افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط عبدالله و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است.

در این مطالعه میزان H_2O_2 و EL بطورمعنی‌داری تحت تنش شوری افزایش داشت. معمولاً، تجمع H_2O_2 منجر به آسیب اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش و تولید MDA به عنوان نشانه‌ای از آسیب ناشی از تنش که به نوبه خود باعث افزایش EL می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که قارچ، ترهالوز و ترکیب آنها EL را تحت تنش شوری کاهش داد. این نتایج نقش احتمالی *S. indica* را در حفظ غشا و جلوگیری از تشکیل بیش از حد ROS نشان می‌دهد. این نتایج در تطابق با نتایج خلید و همکاران (۲۰۱۸) که نشان می‌دهد که گیاهان تلقیح یافته، EL را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده کاهش دادند. گیاهان گوجه‌فرنگی تلقیح شده با *S. indica* به شدت فعالیت آنتی اکسیدان‌ها را القا می‌کنند. فعالیت‌هایی که به گیاهان میزبان کمک می‌کند تا سطح ROS را کاهش دهند که ممکن است یک توضیح احتمالی غیرمستقیم برای کاهش محتوای H_2O_2 باشد. تیمار با ترهالوز به طور قابل توجهی باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در تنش غیرزیستی و کاهش اثر نامطلوب شرایط تنش بر رشد گیاه می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۲۰) که در تطابق با نتایج بدست آمده در این مطالعه می‌باشد. ترهالوز، به عنوان یک مولکول سیگنال، ژن‌های مربوط به سم زدایی و پاسخ‌های تنش را فعال می‌کند. ترهالوز می‌تواند به عنوان محافظ تنش عمل کند و با تثبیت غشاها و پروتئین‌ها از آسیب تنش‌های غیرزیستی جلوگیری کند. بنابراین، کاهش در محتوای H_2O_2 و EL ممکن است به دلیل حذف ROS، تثبیت غشا، یا تعدیل مکانیسم آنتی اکسیدانی به واسطه تیمار با ترهالوز باشد (صدک ۲۰۱۹).

یکی از ترکیبات مهم که در شرایط تنش افزایش می‌یابد، پرولین است، در پاسخ به تنش در بسیاری از گیاهان میزان پرولین افزایش یافته و گیاه با تجمع پرولین، پلی آمین، ترهالوز، افزایش ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌سازی می‌تواند مقاومت خود را در برابر تنش افزایش دهد (هنگ ۲۰۰۰). اثرات مثبت تلقیح با *S. indica* بر محتوای پرولین در چندین مطالعه گزارش شده است که نتایج به دست آمده از این پژوهش را تایید می‌کند (ساکسنا و همکاران ۲۰۲۰؛ عزیزی و همکاران ۲۰۲۱). مطالعات نشان می‌دهد که بیان ژن P5CS که آنزیمی مربوط به بیوسنتز پرولین را کد می‌کند در گوجه‌فرنگی کلونیزه شده توسط *S. indica* افزایش می‌یابد (عزیزی و همکاران ۲۰۲۱). کابوسی و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که استفاده از ترهالوز موجب افزایش سطح پرولین و کربوهیدرات در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش‌های غیرزیستی گردید.

معمولاً شرایط تنش موجب نشت الکترولیت و تولید ROS می‌شود. آنزیم‌های آنتی اکسیدانی با حذف ROS آسیب سلولی را کاهش داده و مانع اکسیداسیون بیومولکول‌ها می‌شوند. در این مطالعه گیاهان تحت تنش شوری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در آنها افزایش داشت که این با نتایج مسا و همکاران (۲۰۲۲) تطابق دارد. از سوی دیگر تلقیح با *S. indica* و کاربرد ترهالوز میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تحت تنش شوری را افزایش داد. این افزایش سبب تقویت ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه و در نهایت افزایش تحمل تنش می‌شود این نتایج در تطابق با گزارشات قبلی است (تسای و همکاران ۲۰۲۰) که پیشنهاد می‌دهد *S. indica* می‌تواند در برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک گوجه‌فرنگی از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی اکسیدانی دخالت کند. *S. indica* ممکن است فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاهان تلقیح شده تحت شرایط تنش را تغییر دهد که این کار را بوسیله تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین انجام می‌دهد. همچنین در مطالعه حاضر، فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان تیمار شده با ترهالوز افزایش یافت که این نتایج توسط نتایج بدست آمده توسط

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تاثیر تلقیح با قارچ *S. indica* و ترهالوز بر پارامترهای جوانه زنی و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری بود. از نتایج این آزمایش می توان نتیجه گرفت که تنش شوری بخصوص در غلظت ۱۰۰ میلی مولار باعث کاهش صفات جوانه زنی و صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه گردید. پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد ترهالوز در هردو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی مولار و تلقیح با *S. indica* حتی در شاهد (بدون کلرید سدیم) باعث بهبود پارامترهای جوانه زنی شده است که به نوبه خود می تواند استقرار گیاه و رشد گیاه را افزایش دهد. از طرف دیگر تلقیح با قارچ *S. indica* و کاربرد ترهالوز بخصوص در غلظت ۵۰ میلی مولار در هردو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار توانسته است اثرات منفی ناشی از تنش شوری را کاهش دهد. در مجموع نتایج نشان داد که کاربرد میکروارگانیسم های مفید مانند قارچ های مفید و قندهایی مانند ترهالوز می تواند یک راهکار مناسب برای افزایش پارامترهای جوانه زنی و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش های غیرزیستی در نظر گرفته شود.

سیاسگزاری

بدینوسیله از حمایت های مالی دانشگاه ملایر جهت انجام این پژوهش قدردانی می گردد.

لیو و همکاران (۲۰۱۰) تایید می شود که نشان دادند تحت شرایط تنش غیرزیستی ترهالوز میزان آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش داده است.

در این مطالعه غلظت پتاسیم تحت تاثیر تنش شوری کاهش یافت. در شرایط تنش شوری افزایش تجمع یون سدیم می تواند جذب پتاسیم را تحت تاثیر قرار دهد (نواز و همکاران ۲۰۲۲). کاربرد ترهالوز و تلقیح با *S. indica* هر دو باعث افزایش غلظت پتاسیم در گیاه گوجه فرنگی شدند. همبستگی مثبتی بین *S. indica* و غلظت پتاسیم در مطالعات قبلی گزارش شده است (قبولی و کابوسی ۲۰۲۲؛ کریمی و همکاران ۲۰۲۲). نتایج همچنین نشان داد که ترهالوز غلظت پتاسیم را در برگ های گوجه فرنگی در معرض تنش شوری افزایش داده است. در گیاهان قندها می توانند هموستازی عناصر غذایی را تحت شرایط تنش حفظ کنند. تحت شرایط تنش، گیاهان گوجه فرنگی تیمار شده با ترهالوز دارای یک سطح بالاتری از پتاسیم بودند که ممکن است به نقش کلیدی این عناصر در تحمل به تنش مرتبط باشد. در آرابیدوپسیس، کاربرد ترهالوز باعث حفظ هموستاز یونی شده و فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش داده و در نتیجه اثرات نامطلوب تنش شوری را کاهش داده است (یانگ و همکاران ۲۰۱۴).

منابع مورد استفاده

- Abdallah MMS, Abdelgawad ZA and El-Bassiouny HMS. 2016. Alleviation of the adverse effects of salinity stress using trehalose in two rice varieties. South African Journal of Botany, 103:275–282. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.019>
- Abdelaziz ME, Abdelsattar M, Abdeldaym EA, Atia MA, Mahmoud AW, Saad MM and Hirt H. 2019. *Piriformospora indica* alters Na⁺/ K⁺ homeostasis, antioxidant enzymes and LeNHX1 expression of greenhouse tomato grown under salt stress. Scientia Horticulturae, 256:108532. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.059>
- Ahmadvand G and Hajinia S. 2018. Effect of endophytic fungus *Piriformospora indica* on yield and some physiological traits of millet (*Panicum miliaceum*) under water stress. Crop & Pasture Science, 69(6):594–605. <https://doi.org/10.1071/CP17364>
- Akbari Quzhi E, Izadi Darbandi A, Borzoi A and Majd Abadi A. 2010. An investigation on morphologic changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype on salinity condition. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 4: 71-82. (In Persian with English Abstract).

- Akram NA, Waseem M, Ameen R and Ashraf M. 2016. Trehalose pretreatment induces drought tolerance in radish (*Raphanus sativus* L.) plants: some key physio-biochemical traits. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1):1–10. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-2018-1>
- Ali Q and Ashraf M. 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(4):258–271. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00463.x>
- Almeida AM, Cardoso LA, Santos DM, Torné JM and Fevereiro PS. 2007. Trehalose and its applications in plant biotechnology. In *Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 43(3):167–177. <https://doi.org/10.1007/s11627-006-9024-3>
- Ardalani H, Babazade H and Ebrahimi H. 2017. Modeling response of tomato (*Solanum lycopersicum*) under simultaneous water salinity and nitrogen deficiency stresses. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(1):87-104. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109910>
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1):1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Attri MK and Varma A. 2018. Comparative Study of Growth of *Piriformospora indica* by using different Sources of Jaggery. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 12: 933–942. <https://doi.org/10.22207/JPAM.12.2.56>
- Azizi M, Mohseni Fard E and Ghabooli M. 2021. *Piriformospora indica* affect drought tolerance by regulation of genes expression and some morphophysiological parameters in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 287:110260. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110260>
- Barazani O; Benderoth M; Groten K; Kuhlemeier C and Baldwin I.T. 2005. *Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera* increase growth performance at the expense of herbivore resistance in *Nicotiana attenuata*. *Oecologia*, 146: 234–243. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0193-2>
- Bates LS, Waldren RP and Teare I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39(1):205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Ben Hamed K, Castagna A, Salem E, Ranieri A and Abdelly C. 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions, a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulators*, 53: 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9217-8>
- Cetin O and Uygan D. 2008. The effects of drip Line spacing, irrigation regimes and planting geometries of tomato on yield, irrigation water use efficiency and return. *Agricultural Water Management*, 95: 949- 958. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.03.002>
- Chance B and Maehly A. 1955. Assay of catalases and peroxidases. Elsevier, pp 764–775. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
- Chang B, Yang L, Cong W, Zu Y and Tang Z. 2014. The improved resistance to high salinity induced by trehalose is associated with ionic regulation and osmotic adjustment in *Catharanthus roseus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 77:140-148. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.02.001>
- Ghabooli M, Rezaei E, Movahedi Z, and Mohsenifard E. 2020. Effect of *Piriformospora indica* inoculation on some morphophysiological parameters in licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) under drought stress. *Iran Journal of Plant Physiology*, 10(4):3379–3389. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.677198>
- Ghabooli M and Kaboosi E. 2022. Alleviation of the adverse effects of drought stress using a desert adapted endophytic fungus and glucose in tomato. *Rhizosphere* 21:100481. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100481>

- Ghabooli M, Khatabi BF, Ahmadi S, Sepehri M, Mirzaei M, Amirkhani A, Jorrín-Novo JV and Salekdeh GH. 2013. Proteomics study reveals the molecular mechanisms underlying water stress tolerance induced by *Piriformospora indica* in barley. Journal of Proteomics, 94: 289-301. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2013.09.017>
- Golestani kian S, Movahedi Z, Ghabooli M and Mohsenifard E. 2021. Effect of using *Piriformospora indica* and cadmium on some morphophysiological traits and concentration of nutrients of tomato in aeroponic system. Horticultural Plants Nutrition, 4(1): 47-60. <https://doi.org/10.22070/hpn.2021.5319.1086>
- Hong Z, Lakkineni K, Zhang Z, Verma DP. 2000. Removal of feedback inhibition of delta (1)- pyrroline-5-carboxylate syntheses results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. Plant Physiology, 122, 1129-1136. <https://doi.org/10.1104/pp.122.4.1129>
- Huang P, Li C, Che P, Liu H, Zhao Z, Feng L, Liu X and Liao W. 2023. Hydrogen Gas Enhanced Seed Germination by Increasing Trehalose Biosynthesis in Cucumber. Journal of Plant Growth Regulation, 42:3908–3922. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10858-0>
- Jisha S; Sabu KK and Manjula S. 2019. Multifunctional aspects of *Piriformospora indica* in plant endosymbiosis. Mycology, 10: 182. <https://doi.org/10.1080/21501203.2019.1600063>
- Kaboosi E, Ghabooli M and Karimi R. 2023. Combined Effect of Trehalose and *Serendipita indica* Inoculation Might Participate in *Solanum lycopersicum* Induced Cold Tolerance. Current Microbiology, 80, 224. <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03335-8>
- Karimi R, Amini H and Ghabooli M. 2022. Root endophytic fungus *Piriformospora indica* and zinc attenuate cold stress in grapevine by influencing leaf phytochemicals and minerals content. Scientia Horticulturae, 293:110665. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110665>
- Khalid M, Hassani D, Liao J, Xiong X, Bilal M and Huang D. 2018. An endosymbiont *Piriformospora indica* reduces adverse effects of salinity by regulating cation transporter genes, phytohormones, and antioxidants in *Brassica campestris* ssp. *chinensis*. Environmental and Experimental Botany, 153:89–99. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.007>
- Kosar F, Akram NA, Sadiq M, Al-Qurainy F and Ashraf M. 2019. Trehalose: a key organic osmolyte effectively involved in plant abiotic stress tolerance. Journal of Plant Growth Regulation, 38(2):606–618. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9876-x>
- Liu T, Ye X, Li M, Li J, Qi H and Hu X. 2020. H₂O₂ and NO are involved in trehalose-regulated oxidative stress tolerance in cold-stressed tomato plants. Environmental and Experimental Botany, 171:103961. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103961>
- Luo Y, Li F, Wang GP, Yang XH and Wang W. 2010. Exogenously-supplied trehalose protects thylakoid membranes of winter wheat from heat-induced damage. Biology Plant, 54(3):495–501. <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0087-y>
- Mahmoodi N, Movahedi Z and Ghabooli M. 2023. Impact of *Piriformospora indica* on various characteristics of tomatoes during nickel nitrate stress under aeroponic and greenhouse conditions. Frontiers in Microbiology, 13:1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1091036>
- Malash N, Ghaibeh A, Yeo A, Ragab R and Cuartero J. 2002. Effect of irrigation water salinity on yield and fruit quality of tomato. Acta Horticulturae, 573: 415-423. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.573.51>
- Mehri M, Ghabooli M and Movahedi Z. 2023. Contribution of *Serendipita indica* on growth improvement, antioxidative capacity of *Dracocephalum kotschyi*, and its resistance against cadmium stress. International Microbiology, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10123-023-00339-z>
- Mesa T, Polo J, Arabia A, Caselles V and Munné-Bosch S. 2022. Differential physiological response to heat and cold stress of tomato plants and its implication on fruit quality. The Journal of Plant Physiology, 268:153581. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153581>

- Nawaz M, Hassan MU, Chattha MU, Mahmood A, Shah AN, Hashem M, Alamri S, Batool M, Rasheed A, Thabit MA and Alhaithloul HA. 2022. Trehalose: a promising osmo-protectant against salinity stress—physiological and molecular mechanisms and future prospective. *Molecular Biology Reports*, 49: 11255–11271. [https:// doi: 10.1007/s11033-022-07681-x](https://doi.org/10.1007/s11033-022-07681-x).
- Paul MJ, Primavesi LF, Jhurrea D and Zhang Y. 2008. Trehalose metabolism and signaling. *Annual review of plant biology*, 59:417–441. [https:// doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092945](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092945).
- Prasad R, Kamal S, Sharma PK, Oelmüller R and Varma A. 2013. Root endophyte *Piriformospora indica* DSM 11827 alters plant morphology, enhances biomass and antioxidant activity of medicinal plant *Bacopa monniera*. *Journal of basic microbiology*, 53(12):1016–1024. [https:// doi: 10.1002/jobm.201200367](https://doi.org/10.1002/jobm.201200367).
- Ritchie SW and Nguyen HT. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Rohman M, Islam M, Monsur MB, Amiruzzaman M, Fujita M and Hasanuzzaman M. 2019. Trehalose protects maize plants from salt stress and phosphorus deficiency. *Plants*, 8(12):568. <https://doi.org/10.3390/plants8120568>.
- Sabokkhiz M, Malekzadeh Shafaroudi S and Mirshamsi Kakhki, A. 2014. Study on Seed Germination of Two Tomato Purified Cultivars under Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4): 834-840. (In Persian with English Abstract). [https:// doi: 10.22067/gsc.v12i4.29254](https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.29254)
- Sadak MS. 2019. Physiological role of trehalose on enhancing salinity tolerance of wheat plant. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1):1– 10. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0098-6>
- Saksena HB, Sharma M, Singh D and Laxmi A. 2020. The versatile role of glucose signalling in regulating growth, development and stress responses in plants. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 29:687-699. [https:// doi: 10.1007/s13562-020-00614-4](https://doi.org/10.1007/s13562-020-00614-4).
- Singh A, Sharma J, Rexer KH and Varma A. 2000. Plant productivity determinants beyond minerals, water and ight: *Piriformospora indica*-a revolutionary plant growth promoting fungus. *Current Science-Bangalore*, 79:1548-1554.
- Sirrenberg A, Göbel C, Grond S, Czempinski GN, Ratzinger A, Karlovsky P, Santos P, Feussner I and Pawlowski K. 2007. *Piriformospora indica* affects plant growth by auxin production. *Physiologia of Plantarum*, 131, (4): 581-589. [https:// doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.00983.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00983.x)
- Su ZZ, Wang T, Shrivastava N, Chen YY, Liu X, Sun C, Yin Y, Gao QK and Lou BG. 2017. *Piriformospora indica* promotes growth, seed yield and quality of *Brassica napus* L. *Microbiological Research*, 199:29–39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.02.006>
- Tsai HJ, Shao KH, Chan MT, Cheng CP, Yeh KW, Oelmüller R and Wang SJ. 2020. *Piriformospora indica* symbiosis improves water stress tolerance of rice through regulating stomata behavior and ROS scavenging systems. *Plant Signaling & Behavior*, 15(2):1722447. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1722447>
- Varma A, Savita S, Sahay N, Butehorn B and Franken P. 1998. *Piriformospora indica*, A cultivable plant-growth-promoting root endophyte. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 65:2741-2744. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.6.2741-2744.1999>
- Varma A; Bakshi M; Lou B; Hartmann A and Oelmüller R. 2012. *Piriformospora indica*: A Novel Plant Growth-Promoting Mycorrhizal Fungus. *Agricultural research journal*, 1: 117–131. [https://doi: 10.1007/s40003-012-0019-5](https://doi.org/10.1007/s40003-012-0019-5)
- Velikova V and Loreto F .2005. On the relationship between isoprene emission and thermotolerance in *Phragmites australis* leaves exposed to high temperatures and during the recovery from a heat stress. *Plant, Cell & Environment*, 28(3):318–327. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01314.x>

- Wagner GJ. 1979. Content and Vacuole/Extravacuole Distribution of Neutral Sugars, Free Amino Acids, and Anthocyanin in Protoplasts. *Plant Physiology*, 1:64(1):88–93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
- Wang M, Zhang S and Ding F. 2020. Melatonin mitigates chilling-induced oxidative stress and photosynthesis inhibition in tomato plants. *Antioxidants*, 9(3):218. <https://doi.org/10.3390/antiox9030218>
- Yang L, Zhao X, Zhu H, Paul M, Zu Y and Tang Z. 2014. Exogenous trehalose largely alleviates ionic unbalance, ROS burst, and PCD occurrence induced by high salinity in *Arabidopsis* seedlings. *Frontiers of plant science*, 29:5:570. <https://doi: 10.3389/fpls.2014.00570>
- Zhu HH and Yao Q. 2004. Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Phytopathology*, 152: 537-542. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00892.x>