

(OPEN ACCESS)

**Effect of mycorrhiza and potassium silicate application
on morphological and biochemical traits of cv. Camarosa
strawberries under heat stress conditions**

Aliyeh Shafiei¹, Mehdi Hadadinejad^{*2}, Kamran Ghasemi³, Saeed Eshghi⁴

1. M.Sc. Graduate of Horticultural Science, Faculty of Agronomy Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: shafiealiye@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agronomy Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: m.hadadinejad@sanru.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agronomy Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: k.ghasemi@sanru.ac.ir
4. Professor, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: eshghi@shirazu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Nowadays, one of the major challenges facing agriculture worldwide is the phenomenon of global warming and the emergence of heat stress in many agricultural crops. Strawberry is one of the important horticultural crops that climate change and rising air temperatures have had a negative impact on its growth and productivity. Various strategies are used to cope with stresses, which include the use of silicon and inoculation with mycorrhizae bacteria. Silicon has applications in various stresses and has proven effective under heat and drought conditions. Mycorrhizal fungi also delay the reduction in relative water content in the leaves during various stresses by keeping stomata open. The aim of this experiment is to evaluate the effects of application of fungus and potassium silicate on strawberry runners in order to cope with the effect of high temperature stress on runners and plants and study the vegetative growth of runners.
Article history: Received: 12.30.2023 Revised: 01.09.2024 Accepted: 02.05.2024	
Keywords: Ion leakage, Proline, Symbiosis, Tolerance	
	Materials and Methods: For this purpose, a study was conducted to investigate the effect of potassium silicate and mycorrhizae fungus on tolerance to heat stress in 'Camarosa' strawberry and also to evaluate the possibility of increasing plant tolerance to heat in the research greenhouse of Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. After two months of establishment, plants were maintained in a controlled environment (control) and the rest of the plants were transferred to stress temperature. One group of pots were kept in a no-stress space where the day temperature was 25±1 °C and the night temperature was 16±1 °C and the relative humidity was 60±5%, and the other pots were placed under stress in the greenhouse. The plants were placed at 25 °C and the greenhouse temperature was increased by 2 °C every hour. After seven hours when the greenhouse temperature reached 39 °C from 25 °C, the greenhouse temperature was adjusted to 40±1 °C and the plants were exposed to this stressful temperature for three days. This research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three factors including two levels of mycorrhizae fungus (with and

without mycorrhizae fungus), three levels of potassium silicate (zero, 50 and 100 milligrams per liter) as foliar application and two levels of thermal stress (25 and 41 °C) with three replications in soil culture in the greenhouse.

Results: The results showed that high temperature stress reduced the characteristics of fresh root weight, leaf dry weight and silicon content. Application of potassium silicate enhanced leaf relative water content, fresh weight of leaves and crowns, dry weight of leaves and roots, crown diameter, shoot length, and proline content. Application of 50 milligrams per liter potassium silicate with the addition of mycorrhiza and also in the absence of it significantly increased dry leaf weight by more than 1.2 and 5.3 times, respectively. Also, the highest fresh root weight with a mean of 3.6 grams was observed at 100 milligrams per liter potassium silicate concentration. The highest relative water content of leaves under heat stress treatment was observed in plants inoculated with fungus and without potassium silicate treatment with an average of 89.65%, which made a significant difference with other treatment levels. At a concentration of 100 mg/liter of potassium silicate, a significant increase of 1.6 times in proline content was observed. So, the amount of proline in the control treatment was 0.023 micromole/g on average, which reached 0.0663 micromole/g in the 100 mg/liter treatment.

Conclusion: Ultimately, it was determined that high temperature stress affects many biochemical and photosynthetic factors of strawberry plants, and application of 50 milligrams per liter potassium silicate along with mycorrhizae fungus, unlike their separate applications, prevented heat damage to different plant parts.

Cite this article: Shafiei, Aliyeh, Hadadinejad, Mehdi, Ghasemi, Kamran, Eshghi, Saeed. 2025. Effect of mycorrhiza and potassium silicate application on morphological and biochemical traits of cv. Camarosa strawberries under heat stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 32 (2), 17-40.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2024.21989.3099

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر صفات زیستی و زیست‌شیمیایی توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط تنش گرمایی

عالیه شفیعی^۱، مهدی حدادی‌نژاد^{۲*}، کامران قاسمی^۳، سعید عشقی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: shafieealiye@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: m.hadadinejad@sanru.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: k.ghasemi@sanru.ac.ir
۴. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: eshghi@shirazu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: امروزه یکی از چالش‌های مهم پیش‌روی کشاورزی در جهان پدیده گرم شدن زمین و بروز تنش گرمایی در بسیاری از محصولات کشاورزی می‌باشد. توت‌فرنگی یکی از محصولات مهم باغبانی است که تغییر اقلیم و گرم شدن هوا بر رشد و عملکرد آن تأثیر منفی داشته است. راهکارهای مختلفی جهت مقابله با تنش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله می‌توان به کاربرد سیلیسیم و تلقیح با باکتری میکوریزا اشاره نمود. سیلیسیم در انواع تنش‌ها کاربرد داشته و در شرایط گرما و خشکی نیز مؤثر واقع شده است. هم‌چنین قارچ‌های میکوریزا از طریق باز نگه‌داشتن روزه‌های زیر برگ، موجب تأخیر در کاهش محتوای نسبی آب برگ در طی انواع تنش می‌گردد. هدف از انجام این آزمایش ارزیابی اثرات کاربرد قارچ و سیلیکات پتاسیم روی بوته‌های دختری به‌منظور مقابله با اثر تنش دمای بالا بر روندک و بوته‌های دختری و بررسی رشد رویشی روندک می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: پرولین، تحمل، نشت یونی، همزیستی	مواد و روش‌ها: به همین منظور، پژوهشی با بررسی اثر سیلیکات پتاسیم و قارچ میکوریزا بر تحمل تنش گرمایی توت‌فرنگی رقم کاماروسا و نیز ارزیابی امکان افزایش تحمل گیاه نسبت به گرما در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. پس از گذشت دو ماه از استقرار، گیاهان در محیط کنترل‌شده (شاهد) نگه‌داشته شده و بقیه گیاهان به دمای تنش (۴۰ درجه سانتی‌گراد) منتقل گردیدند. یک گروه گلدان در فضای بدون تنش که درجه حرارت آن در روز ۲۵±۱ و در شب ۱۶±۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰±۶۰

درصد بود و گروه دیگر گلدان‌ها در گلخانه تحت تنش قرار گرفتند. بوته‌ها در دمای ۲۵ درجه قرار داده و هر ساعت ۲ درجه سانتی‌گراد دمای گلخانه اضافه شد. بعد از هفت ساعت که دمای گلخانه از ۲۵ درجه به ۴۰ درجه سانتی‌گراد رسید، دمای گلخانه روی 40 ± 1 درجه سانتی‌گراد تنظیم و بوته‌ها بدین‌صورت به مدت سه روز در دمای تنش‌زا قرار گرفتند. این پژوهش در قالب طرح فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی با سه فاکتور شامل دو سطح قارچ میکوریزا (با و بدون قارچ میکوریزا)، سه سطح سیلیکات پتاسیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به شکل محلول‌پاشی و دو سطح دمایی (۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) با سه تکرار در گلخانه با کشت خاکی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش دمای بالا موجب کاهش ویژگی‌های وزن‌تر ریشه، وزن خشک برگ و میزان سیلیسیم شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب بهبود محتوای نسبی آب برگ، وزن‌تر برگ و طوقه، وزن خشک برگ، ریشه، قطر طوقه، طول روندک و محتوای پرولین شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، در صورت حضور و عدم حضور میکوریزا به ترتیب سبب افزایش معنی‌داری به میزان بیش از ۲/۱ و ۳/۵ برابری وزن خشک برگ شد. هم‌چنین در غلظت سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بالاترین میزان وزن‌تر ریشه با میانگین ۶/۰۳ گرم مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان آب نسبی برگ در تیمار تنش گرمایی در بوته‌های تلقیح‌شده با قارچ و بدون تیمار سیلیکات پتاسیم با میانگین حدود ۸۹/۶۵ درصد مشاهده شد که با سایر سطوح تیماری تفاوت معنی‌داری ایجاد کرد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم، افزایش معنی‌دار ۱/۶ برابری در محتوای پرولین مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار پرولین در تیمار شاهد با میانگین ۰/۰۲۳ میکرومول بر گرم بوده که در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۰/۰۶۶۳ میکرومول بر گرم رسید.

نتیجه‌گیری: درنهایت، مشخص شد که تنش دمای بالا بسیاری از فاکتورهای زیستی و زیست‌شیمیایی گیاه توت‌فرنگی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد که کاربرد سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با قارچ میکوریزا برخلاف کاربرد جداگانه آن‌ها، از ورود آسیب گرما به بخش‌های مختلف گیاه جلوگیری کرد.

استناد: شفیعی، عالیه، حدادی‌نژاد، مهدی، قاسمی، کامران، عشقی، سعید (۱۴۰۴). اثر میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر صفات زیستی و زیست‌شیمیایی توت‌فرنگی رقم کاماروسا در شرایط تنش گرمایی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۲ (۲)، ۴۰-۱۷.

DOI: 10.22069/jopp.2024.21989.3099



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های مهم پیش روی کشاورزی در جهان پدیده گرم شدن زمین و به اصطلاح تغییر اقلیم مناطق مختلف جهان است. این پدیده بر محدوده جغرافیایی مناسب رشد و نمو گیاهان زراعی و باغی مؤثر بوده و موجب کاهش عملکرد و کیفیت بسیاری از محصولات کشاورزی شده است. در نتیجه دستیابی به راهکارهای مناسب برای مقابله با این پدیده و کاهش اثرات منفی آن برای هر یک از محصولات کشاورزی در هر منطقه‌ای بسیار مهم است. توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) یکی از انواع میوه‌های ریز است که تغییر اقلیم و گرم شدن هوای کره زمین بر کمیت و کیفیت میوه آن در بسیاری از کشورها اثرات منفی داشته است و در بسیاری از این مناطق از جمله ایالات متحده آمریکا و کشور ترکیه بررسی‌هایی صورت گرفته است (۱، ۲، ۳). تنش گرمایی از اصلی‌ترین عوامل غیر زیستی محدودکننده تولید و تأثیرگذار بر رشد و نمو بسیاری از محصولات کشاورزی در فصل گرم سال از انتهای بهار و فصل تابستان در بخش زیادی از مناطق جهان است. تنش گرمایی بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی گیاهان اثر گذاشته و غالباً به تنش‌های غیر زیستی دیگر، مانند تنش خشکی منتهی می‌شود (۴). درجه حرارت اثر زیادی بر فرآیندهای فتوسنتز و تنفس دارد. در شدت‌های نور بالا، اثر درجه حرارت بر فتوسنتز با افزایش زیادی همراه می‌باشد. درجه حرارت‌های بسیار زیاد، یعنی دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تخریب یکپارچگی عملکرد دستگاه فتوسنتزی در کلروپلاست، موجب کاهش شدید فتوسنتز می‌شود (۵).

سیلیسیم به عنوان یک عنصر بسیار مؤثر در گیاهان، به خصوص در گیاهان تحت تنش‌های مختلف مانند خشکی، شوری، پاتوژن‌های گیاهی، آفات و حشرات، محسوب می‌گردد. این عنصر به عنوان یکی از عناصر

رایج در پوسته زمین به حساب می‌آید که بیش از ۲۵ درصد از پوسته را تشکیل می‌دهد و از نظر فراوانی دومین عنصر فراوان در پوسته زمین می‌باشد. از تأثیرات سودمند سیلیسیم می‌توان به مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف اشاره کرد؛ در واقع نقش این عنصر در گیاه زمانی بهتر آشکار می‌گردد که گیاه تحت تنش قرار گیرد. به نظر می‌رسد که سیلیسیم در شرایط تنش خشکی و شوری تأثیر بسیار زیادی در افزایش رشد و عملکرد و جذب برخی از عناصر در گیاه دارد. سیلیسیم با رسوب در پوست، میزان تعرق را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد و به این طریق از تلف شدن آب در شرایط کمبود آب و خشکی جلوگیری به عمل می‌آورد (۶). در پژوهشی که به بررسی اثر بنزیل آدنین نسبت به سیلیکات پتاسیم در فلفل‌های تحت شرایط تنش دمایی بالا پرداخته شد، نتایج نشان داد در دمای بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد، محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۵ میلی مولار منجر به افزایش وزن تر از ۲/۳۷ گرم به ۲/۸۵ گرم و وزن خشک ریشه از ۰/۳ گرم به ۰/۳۶ گرم گردید. همچنین افزایش ۱۲ درصدی غلظت پتاسیم و حدود دو درصدی محتوای مشاهده شد (۷). در لیلیوم محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم به میزان ۲۵ میلی گرم در لیتر بیش‌ترین میزان کلروفیل در زمان برداشت را به همراه داشته و سبب تولید گلچه بیش‌تر گردید (۸).

یکی از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های موجود در اکثر خاک‌های تخریب نشده انواع قارچ‌های میکوریزا هستند. پژوهش‌های هارتینگ در سال ۱۸۴۰ اولین گزارش مبنی بر وجود قارچ‌های میکوریزا در اطراف ریشه گیاه میزبان بود که موجب یک رابطه همزیستی بین گیاه و قارچ گردید (۹). قارچ‌های میکوریزا از اصلی‌ترین فلور محیط رشد ریشه گیاهان در بوم نظام طبیعی هستند که با اکثر نهاندانگان رابطه همزیستی ایجاد کرده‌اند. روابط همزیستی میکوریزا با ریشه گیاه نقش مهمی در تجزیه مواد آلی، معدنی شدن عناصر و

گرمای تابستان، بوته‌های دختری تولیدی نداشته و یا در صورت تولید، دارای مقدار کم و بوته‌های ضعیف می‌باشند؛ بنابراین، هدف از این آزمایش نیز ارزیابی اثرات دما به همراه قارچ و سیلیکات پتاسیم روی بوته‌های دختری، ارزیابی اثر تنش دمای بالا روی روندک و بوته‌های دختری بعد از آن و بررسی رشد رویشی روندک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت گلخانه‌ای در گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. تعداد ۷۲ بوته گلدانی توت‌فرنگی رقم کاماروسا از نهالستان تجاری توت‌فرنگی در روستای ارزفون در اطراف شهرستان ساری تهیه و در شهر ساری در گلدان‌های ۴ لیتری حاوی ترکیب خاک مزرعه، خاک برگ پوسیده و ماسه به نسبت ۱:۱:۱ در اواخر اسفندماه کشت گردید (جدول ۱). پس از گذشت دو ماه از کاشت و استقرار بوته‌ها، برخی از گیاهان در محیط کنترل‌شده (شاهد) نگه‌داشته شده و بقیه گیاهان جهت اعمال تنش به دمای بالا منتقل شدند. یک گروه گلدان در فضای بدون تنش که درجه حرارت آن در روز 25 ± 1 و در شب 16 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد بود و گروه دیگر گلدان‌ها در گلخانه تحت تنش قرار گرفتند. تنش گرمایی به تدریج اعمال شد؛ یعنی بوته‌ها در دمای ۲۵ درجه قرار داده و هر ساعت ۲ درجه سانتی‌گراد دمای گلخانه اضافه شد. بعد از هفت ساعت که دمای گلخانه از ۲۵ درجه به ۳۹ درجه سانتی‌گراد رسید، دمای گلخانه روی 40 ± 1 درجه سانتی‌گراد تنظیم و بوته‌ها بدین‌صورت به مدت سه روز در دمای تنش‌زا قرار گرفتند. زمان اعمال هر روز ۸ صبح تا ۴ بعدازظهر بوده که دما به تدریج افزایش یافته و بوته‌ها به مدت ۷۲ ساعت در این دما قرار گرفتند. در آغاز روز چهارم از هر بوته

چرخه عناصر غذایی گیاهان دارند (۱۰). همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاهان از طریق باز نگه‌داشتن روزنه‌های زیر برگ، موجب تأخیر در کاهش محتوای نسبی آب برگ در طی انواع تنش می‌گردد (۱۱). تلقیح گیاه با قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش سطح برگ و در ادامه افزایش مقدار کلروفیل آن‌ها می‌گردد که در نهایت منجر به افزایش سرعت فتوسنتز خالص در تمام دوره رشد گیاه می‌شود (۱۲). همزیستی میکوریزایی با گیاه سبب افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه می‌شود و با توجه به این‌که قارچ‌های میکوریزا جذب منیزیم از خاک توسط گیاه را افزایش می‌دهند، منجر به افزایش سنتز کلروفیل می‌شوند (۱۳). فعالیت قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش میزان پرولین و قندهای محلول در برگ گیاهان میزبان می‌گردد که به علت تجمع این ترکیبات در سلول رخ داده و از این طریق موجب کاهش پتانسیل آب برگ شده و گیاه را از آسیب‌های انواع تنش محافظت می‌کند (۱۴). دلیل اثر قارچ‌های میکوریزا در افزایش میزان قند محلول گیاه، افزایش مقدار تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند جیبرلین و سائتوکینین در بافت گیاهان همزیست با این قارچ‌ها می‌باشد. افزایش مقدار تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به خصوص سائتوکینین، می‌تواند با انتقال یون‌های تأثیرگذار در باز شدن روزنه‌های برگ و تنظیم سطح کلروفیل، سبب افزایش سرعت فتوسنتز شده و در نهایت از این طریق منجر به افزایش میزان کربوهیدرات‌ها در گیاهان گردد (۱۵). پژوهشگران گزارش داده‌اند که در توت‌فرنگی‌های تیمار شده با قارچ، تحت تنش دمایی بالای ۳۵ درجه قطر طوقه به ۱۷ میلی‌متر رسیده است در صورتی‌که در توت‌فرنگی‌های تیمارنشده، قطر طوقه تنها ۸ میلی‌متر بود. هم‌چنین در بوته‌های بدون قارچ ۸ و گیاهان تیمار شده با قارچ ۱۱ برگ رویده است (۱۶). یکی از مشکلات کشت توت‌فرنگی در استان مازندران، تهیه نشای آن می‌باشد که به دلیل بروز

سه سطح سیلیکات پتاسیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) به شکل محلول پاشی و اعمال دو سطح دمایی (۲۵ و ۴۱ درجه سانتی گراد) با سه تکرار انجام شد. کود زیستی میکوریزا از شرکت زیست فناور پیشناز واریان تهیه شده و مقدار ۵۰ گرم از مایه قارچی و در تیمارهای شاهد مقدار معادل آن از آمیخته بدون قارچ استفاده شد.

فاکتورهای مورد ارزیابی، اندازه گیری شده و پس از این در شرایط شاهد نگهداری شدند. برخی صفات مانند فاکتورهای مرتبط با میوه قبل از تنش اندازه گیری شده، برخی حین تنش مانند سنجش پارامترهای فتوسنتزی و بعضی از شاخص ها بعد از تنش مورد اندازه گیری قرار گرفتند. این پژوهش در قالب طرح فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی با سه فاکتور شامل دو سطح قارچ میکوریزا (وجود و عدم قارچ میکوریزا)،

جدول ۱- خصوصیات بستر مورد استفاده برای کشت خاکی توت فرنگی.

Table 1. Soil characteristics used in soil cultivation of strawberry.

منیزیم Mg	فسفر P	پتاسیم K	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	مواد آلی Organic Matter	کربن آلی Organic Carbon	بافت خاک Soil Texture
(ppm)			dS/m	-	(%)	(%)	-
10.8	150	396	1.57	7.06	6.95	4.04	Sandy loam

هدایت الکتریکی آن تعیین شد (EC₂). در نهایت درصد نشت الکترولیت برگ از طریق رابطه زیر محاسبه شد (۱۸):

$$EC\% = (EC_1/EC_2) * 100 \quad (1)$$

برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه ابتدا ریشه های رنگ آمیزی شده به قطعات یک سانتی متری برش داده شدند و سپس ۳۰ قطعه از ریشه های رنگ آمیزی شده به طور تصادفی در پتری دیش که به ابعاد ۱ cm × ۱ cm شبکه بندی شده بود قرار گرفت (روش تقاطع خطوط شبکه) و تعداد خطوط متقاطع کلونیزه شده به وسیله بینوکولار (X30) شمارش و درصد کلونیزاسیون تعیین گردید (۱۹).

برای تعیین میزان پرولین مقدار ۲۰ گرم از نمونه برگي توزین شده و در هاون چینی در ۱۰ میلی لیتر اسیدسولفوسالسیلیک ۳ درصد به خوبی ساییده شد. ماده همگن حاصل در دستگاه سانتریفیوژ با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه، در دمای ۴ درجه سانتی گراد و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. عصاره آماده شده را با

اندازه گیری ها: برای اندازه گیری وزن تر و خشک برگ و ریشه، ابتدا با ترازوی دیجیتال وزن تر را اندازه گیری کرده و سپس نمونه ها را در فویل آلومینیومی به مدت ۴۸ ساعت در آون (خشک کن) با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده و پس از خروج وزن آن ها یادداشت گردید. قطر طوقه را نیز با کولیس دیجیتال محاسبه شد. تعداد روندک را شمارش نموده و هم چنین طول آن با خط کش اندازه گیری گردید.

محتوای آب نسبی برگ با استفاده از تعدادی برگ با قطر ۱۰ میلی متر با استفاده از ترازو اندازه گیری شد (۱۷). برای اندازه گیری نشت یونی یک گرم نمونه برگي، به طول یک سانتی متر با آب مقطر شست و شو شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق در ظروف شیشه ای درب دار حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر نگهداری شد. سپس هدایت الکتریکی محلول با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (برند jenway) تعیین شد (EC₁). پس از آن ظروف حاوی نمونه ها به مدت یک ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن، مجدداً

معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل دما، میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر وزن‌تر و خشک برگ، وزن‌تر و خشک ریشه و قطر طوقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده‌است. هم‌چنین در بررسی تعداد و طول روندها نتایج نشان داد، اگرچه اثر متقابل سه تیمار انجام شده معنی‌دار نشده‌است، اما اثر ساده میکوریزا و سیلیکات پتاسیم، اثر متقابل دما و سیلیکات پتاسیم و دما و میکوریزا بر تعداد روندها و اثر متقابل سیلیکات پتاسیم و دما بر طول روندها معنی‌دار شده‌است (جدول ۲).

۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط نموده و پس از بستن درب لوله‌ها، آن‌ها به مدت یک ساعت در آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از سرد شدن، به هر یک از لوله‌ها مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. در نهایت اعداد در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید (۲۰). مقدار سیلیسیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری و مواد سود سوزآور ۵۰ درصد و پراکسید هیدروژن انجام شد. نمونه آماده شده را در طول موج ۶۵۰ قرائت شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد مقدار سیلیسیم به دست آمد (۲۰).

داده‌ها پس از اندازه‌گیری، در نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ وارد شده و پس از انجام محاسبات، جهت واکاوی آن‌ها از نرم‌افزار SAS ver. 9.1 و Mstat-c استفاده شد. میانگین داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت

جدول ۲- تجزیه و تحلیل واریانس ویژگی‌های ریخت‌شناسی توت‌فرنگی.

Table 2. Analysis of variance for morphological characteristics of strawberry.

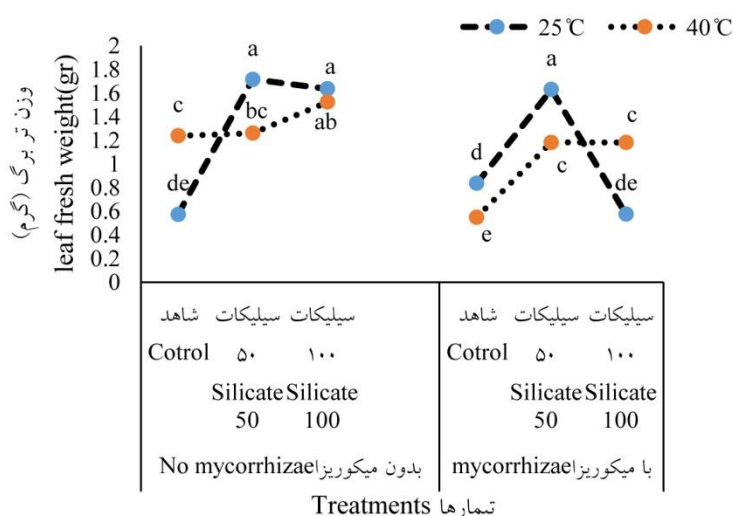
میانگین مربعات Mean square							درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
طول روندها Runner length	تعداد روندها Runner number	قطر طوقه Crown diameter	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root Fresh Weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر برگ Leaf Fresh Weight		
0.187 ^{ns}	0.4 ^{ns}	7.38**	0.017 ^{ns}	3.55**	0.025*	0.00022 ^{ns}	1	دما Temperature
26317*	10.02**	8.02**	4.13	0.111 ^{ns}	0.092**	0.99**	1	میکوریزا Mycorrhiza
4.55 ^{ns}	7.9**	18.68**	1.27**	0.402 ^{ns}	0.194**	1.3**	2	سیلیکات پتاسیم P. silicate
0.136 ^{ns}	14.69**	10.43**	8.62**	14.29**	0.0037 ^{ns}	0.0129 ^{ns}	1	میکوریزا × دما Temp. × myc.
4 ^{ns}	6.38**	8**	0.147 ^{ns}	0.943**	0.047**	0.45**	2	دما × سیلیکات Temp. × silicate
2.03 ^{ns}	3.84*	9.54**	0.687**	6.01**	0.0096 ^{ns}	0.319**	2	سیلیکات × میکوریزا Temp. × silicate
2.03 ^{ns}	0.923 ^{ns}	14.25**	5.88**	8.77**	0.085**	0.525**	2	دما × سیلیکات × میکوریزا Temp. × si × myc.
2.8	0.7	0.84	0.069	0.159	0.004	0.026	24	خطا Error
3.31	23.6	15.42	17.18	13.2	17.94	14.08		ضریب تغییرات C.V

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

ns, *, ** are non-significant and significant at 5 and 1% at probability levels, respective

گیاهان تحت تنش دمایی، با افزایش غلظت سیلیکات پتاسیم هم‌تغییری در میزان وزن‌تر برگ ایجاد نمود؛ اما با افزودن میکوریزا، وزن‌تر برگ به‌جز وقتی که از سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده‌شده بود، کاهش معناداری یافت؛ اما با بروز تنش گرمایی، نوسانات زیادی در این الگو مشاهده شد (شکل ۱).

نتایج نشان داد، کم‌ترین وزن‌تر برگ در غلظت صفر سیلیکات پتاسیم مشاهده شد. درحالی‌که در تیمار شاهد وزن‌تر برگ با استفاده از سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری پیدا کرد اما کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثر کم‌تری نسبت به غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر داشت، با این وجود، در

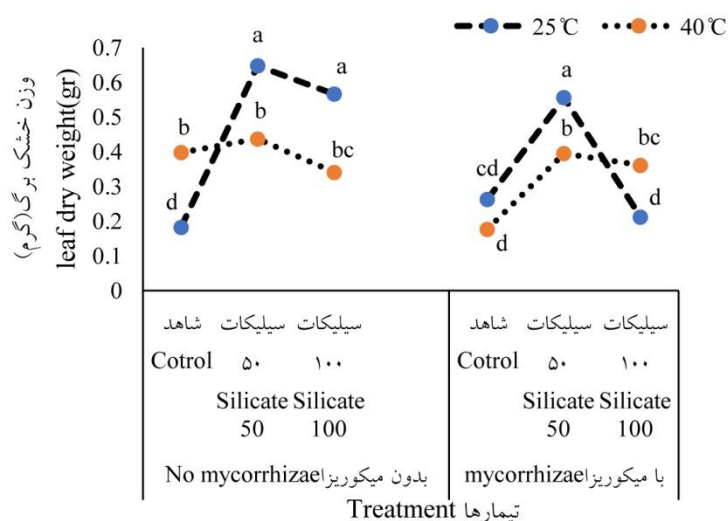


شکل ۱- اثر تنش دمایی، قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر وزن‌تر برگ توت‌فرنگی.

Fig. 1. The effect of temperature stress, mycorrhizae and potassium silicate on fresh weight of strawberry leaves.

تنش دمایی چندان چشمگیر نبوده و تنها در شرایط افزودن میکوریزا غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدون تفاوت معنی‌دار نسبت به یکدیگر موجب افزایش بیش از ۲ برابری وزن خشک برگ گردید (شکل ۲). کم‌ترین وزن خشک برگ در زمان بروز تنش دمایی در بوته‌های تلقیح‌شده با قارچ با میانگین ۰/۱۷۷ گرم مشاهده شد که با میزان وزن خشک برگ در تیمار شاهد فاقد میکوریزا با میانگین ۰/۱۸۲ گرم تفاوت معنی‌داری ندارد (شکل ۲).

الگوی تغییرات وزن خشک برگ در تیمار شاهد و بروز تنش دمایی شکل نسبتاً ثابتی داشت، به‌طوری‌که استفاده از غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم موجب افزایش وزن خشک برگ گردید اما کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب کاهش وزن خشک برگ توت‌فرنگی شد. در تیمار شاهد، کاربرد سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با افزودن میکوریزا و نیز در فقدان آن به‌ترتیب افزایش معنی‌داری به میزان بیش از ۲/۱ و ۳/۵ برابری وزن خشک برگ شد. درحالی‌که این افزایش در شرایط

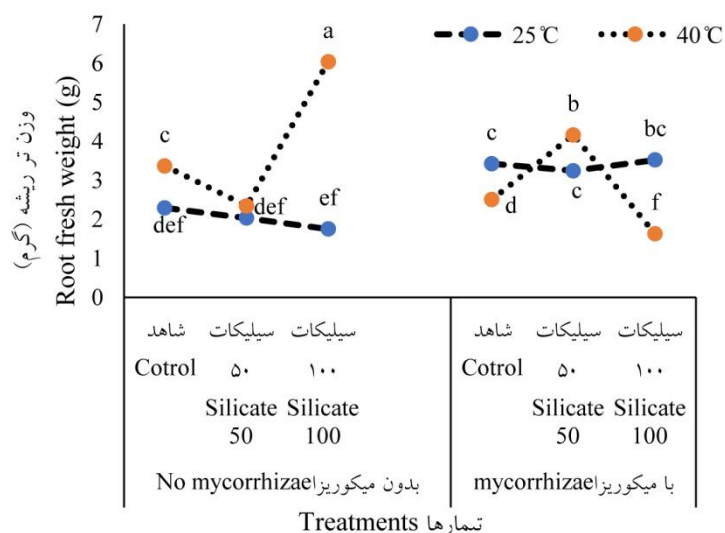


شکل ۲- اثر تنش دمایی، قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر وزن خشک برگ توت‌فرنگی.

Fig. 2. The effect of temperature stress, mycorrhizae and potassium silicate on the dry weight of strawberry leaves.

در لیتر حدود ۴۰ درصد افزایش و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش معنی‌داری به میزان بیش از ۶۰ درصد یافت. این روند در شرایط بدون حضور میکوریزا کاملاً برعکس بوده و در غلظت سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بالاترین میزان وزن‌تر ریشه با میانگین ۶/۰۳ گرم مشاهده گردید (شکل ۳).

وزن‌تر ریشه در تیمار شاهد روند نسبتاً ثابتی داشت، به‌طوری‌که استفاده از غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم در شرایط فاقد میکوریزا و یا حضور آن تغییر معنی‌داری در وزن‌تر ریشه ایجاد نکردند؛ اما در شرایط بروز تنش دمایی، در حضور میکوریزا میزان وزن‌تر ریشه در غلظت سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم

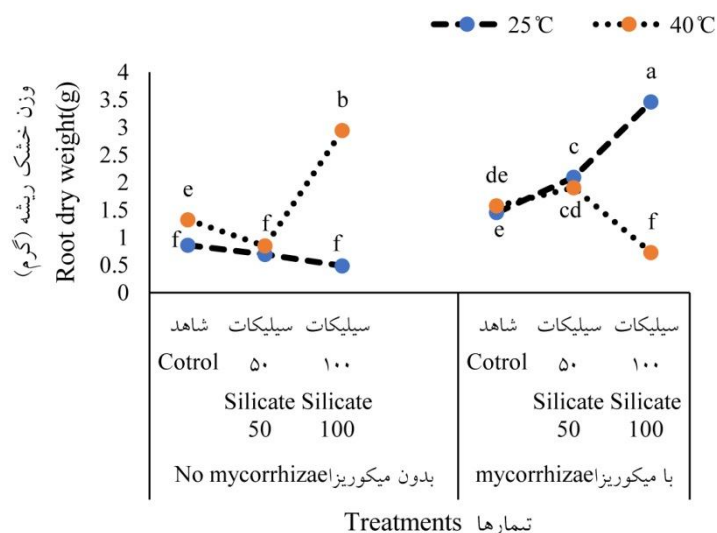


شکل ۳- اثر تنش دمایی، قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر وزن‌تر ریشه توت‌فرنگی.

Fig. 3. The effect of temperature stress, mycorrhizae and potassium silicate on the fresh weight of strawberry root.

خشک ریشه به میزان ۰/۶۴ و ۲/۰۱ گرم به ترتیب در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر شد. در شرایط بروز تنش دمایی، روند تغییرات مشابه با الگوی تغییرات وزن تر ریشه بود. به طوری که در حضور میکوریزا، میزان وزن خشک ریشه در غلظت سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر حدود ۲۱ درصد افزایش و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش معنی‌داری به میزان بیش از ۵۴ درصد یافت. این روند در شرایط بدون حضور میکوریزا کاملاً برعکس بوده و در غلظت سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بالاترین میزان وزن تر ریشه با میانگین ۲/۹۴ گرم مشاهده گردید (شکل ۴).

با توجه به شکل ۴، وزن خشک ریشه در تیمار شاهد با استفاده از غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم در شرایط فاقد میکوریزا روند کاهشی داشته و با افزودن میکوریزا روند افزایشی به خود گرفت. به طوری که در زمان عدم وجود میکوریزا، وزن خشک ریشه در تیمار شاهد با کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به کم‌ترین میزان با میانگین ۰/۴۸۵ گرم رسید؛ اگرچه با وجود کاهش، نسبت به غلظت صفر و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت. در حالی که در تیمار شاهد در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا، کاربرد سیلیکات پتاسیم با افزایش غلظت موجب افزایش معنی‌دار وزن

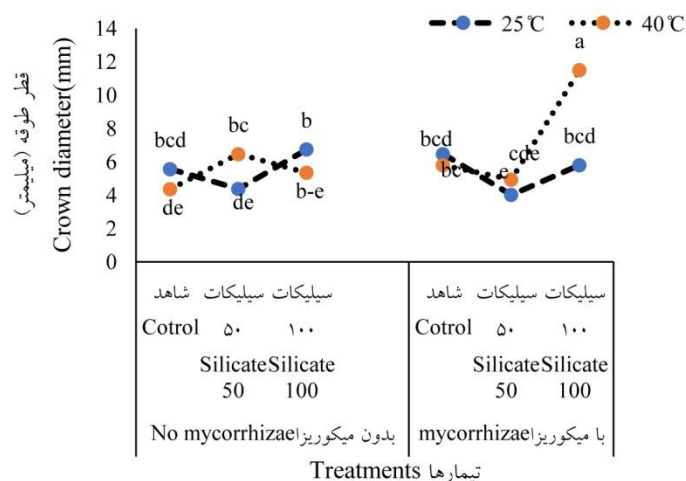


شکل ۴- اثر تنش دمایی، قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر وزن خشک ریشه توت‌فرنگی.

Fig. 4. The effect of temperature stress, mycorrhizae and potassium silicate on the dry weight of strawberry root.

تنها کاربرد غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم بیش از ۴۸ درصد بر قطر طوقه افزود اما غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر منفی بر آن داشت. در شرایط تلقیح با قارچ، کاربرد سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر به‌سزایی بر قطر طوقه در شرایط تنش دمایی داشت و موجب افزایش دو برابری قطر طوقه در همین شرایط شد.

با توجه به شکل ۵، قطر طوقه در تیمار شاهد روند ثابتی داشت، به طوری که استفاده از غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم موجب کاهش معنی‌دار قطر طوقه و کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش قطر طوقه شد، اما این افزایش تفاوت معنی‌داری با غلظت صفر نداشت. این روند در شرایط فاقد میکوریزا یا دارای میکوریزا یکسان بود؛ اما در شرایط بروز تنش دمایی، در بستر فاقد میکوریزا

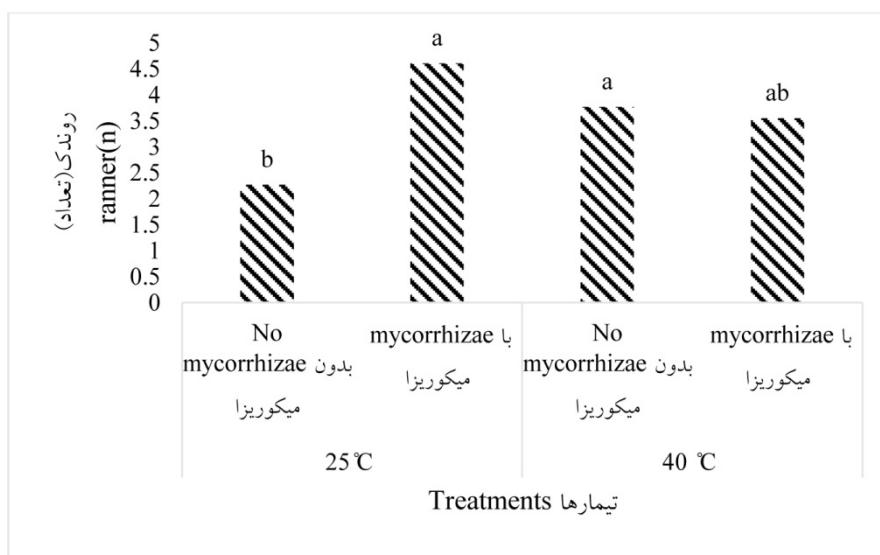


شکل ۵- تأثیر تنش دمایی، تلقیح قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر قطر طوقه توت‌فرنگی.

Fig. 5. The effect of temperature stress, inoculation of mycorrhizae and potassium silicate on the diameter of strawberry crown.

حضور میکوریزا به‌ترتیب با مقادیر ۳/۷۷ و ۳/۵۵
روندک تفاوت معنی‌داری ندارد، اما با مقدار آن در
دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فاقد میکوریزا تفاوت
معنی‌دار نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۶ بیش‌ترین تعداد روندک
در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در حضور قارچ
میکوریزا با میانگین ۴/۶۱ روندک به‌دست آمد که با
تعداد روندک در شرایط تنش دمایی در فقدان یا

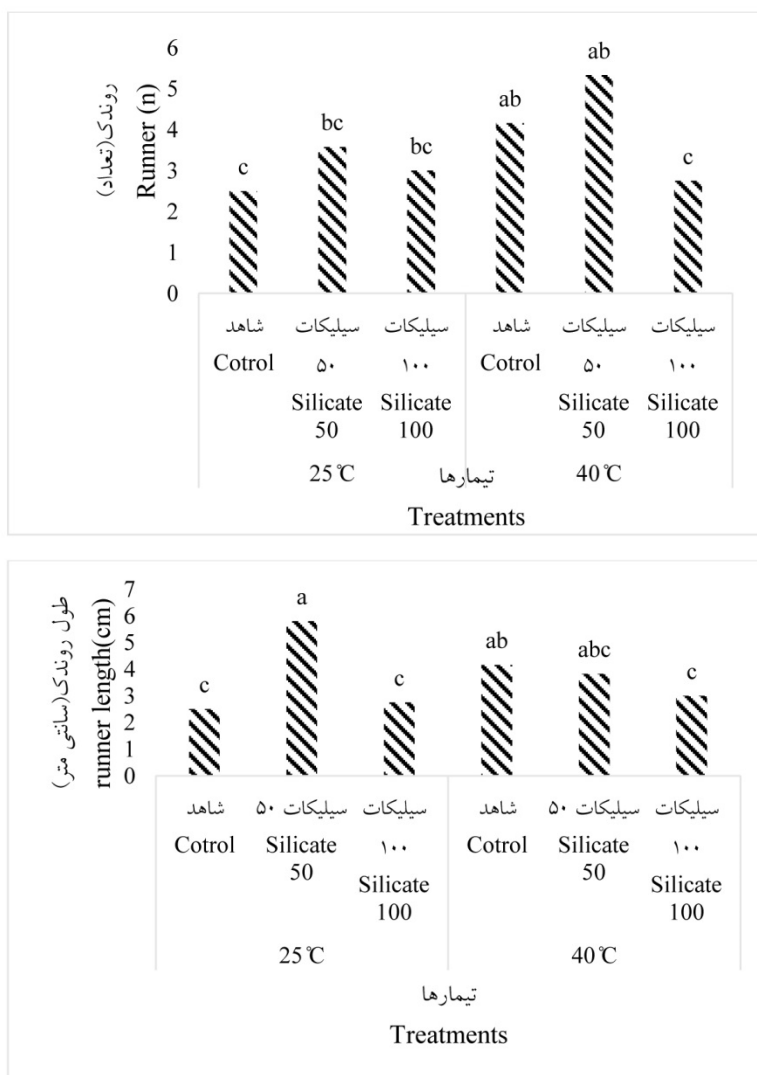


شکل ۶- تأثیر تنش دمایی و تلقیح قارچ میکوریزا بر تعداد روندک توت‌فرنگی.

Fig. 6. The effect of temperature stress and inoculation of mycorrhizae on the number of strawberry runner.

تنش دمایی در غلظت‌های صفر و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم به‌ترتیب با مقادیر ۴/۱۶ و ۳/۸۳ روندک تفاوت معنی‌داری ندارد.

با توجه به شکل ۷، بیش‌ترین تعداد روندک در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۵/۰۸ روندک حاصل شد که با تعداد روندک در شرایط



شکل ۷- تأثیر تنش دمایی و سیلیکات پتاسیم بر تعداد و طول روندک توت‌فرنگی.

Fig. 7. The effect of temperature stress and potassium silicate on the number and length of strawberry runner.

شاهد رسیده است. در زمان تنش کاربرد سیلیکات ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مؤثر بوده، اما با تیمار بدون سیلیکات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشته است. گزارش کردند که کاربرد قارچ‌های میکوریزا از طریق تولید تنظیم‌کننده‌های رشد به‌خصوص هورمون

با توجه به شکل ۷، بیش‌ترین طول روندک در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و در شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد به میزان ۵/۸ سانتی‌متر مشاهده گردید. اگرچه با افزایش سطح سیلیکات پتاسیم از میزان آن کاسته شده و به سطح

جیبرلین موجب افزایش معنی‌دار تعداد و سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی گیاه و عملکرد گیاه گلرنگ می‌گردند. همچنین افزایش سطح برگ در گیاه سورگوم تحت‌تأثیر همزیستی با قارچ میکوریزا گزارش شد (۲۲). همچنین گزارش شده همزیستی با قارچ میکوریزا آربوسکولار باعث افزایش سطح برگ، طول ریشه و ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه و افزایش قطر ساقه گیاه سویا می‌گردد (۲۳). گزارش‌های فراوانی وجود دارد که نشان دهنده افزایش رشد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه با تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزا می‌باشد که به دنبال آن، مقاومت به انواع تنش‌های محیطی و آفات و بیماری‌ها افزایش یافته و در نتیجه سبب افزایش عملکرد و بهره‌وری گیاه می‌گردد (۲۴). گزارش شده تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا موجب افزایش سرعت رشد گیاه شده و اثر فزاینده‌ای بر تخصیص و انتقال زیست‌توده بین ریشه و ساقه دارد، به‌طوری‌که با جذب بیشتر عناصر غذایی و انتقال آن‌ها طول گیاه و تعداد و سطح برگ افزایش می‌یابد (۲۵).

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد سیلیسیم می‌تواند تأثیر تنش گرمایی بر توت‌فرنگی را کاهش دهد. این کود می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در رشد و توسعه گیاهان ایجاد کند و باعث افزایش تعداد و طول رانرها شود (۲۶). همچنین، استفاده از سیلیکات پتاسیم در شرایط بدون تنش نیز توانسته است افزایش معنی‌داری را در صفات رشدی توت‌فرنگی ایجاد کند. این کود می‌تواند بهبود در پارامترهای رشدی گیاهان، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژنی را به همراه داشته باشد (۲۷). پژوهش‌ها نشان داده است که سیلیکات پتاسیم می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد گیاهان توت‌فرنگی در شرایط تنش گرمایی داشته باشد. استفاده از سیلیکات پتاسیم به‌عنوان یک کود

مؤثر و سودآور می‌تواند به افزایش قطر طوقه در گیاهان توت‌فرنگی در شرایط تنش گرمایی کمک کند. این کود می‌تواند بهبود رشد و توسعه گیاهان را تسهیل کند و باعث تشکیل لایه دو لایه سیلیکاتی در برگ‌ها شود که باعث کاهش تبخیر و تعرق و بهبود نرخ فتوسنتز می‌شود (۲۶). همچنین، سیلیکات پتاسیم می‌تواند ساختارهای ریخت‌شناسی دیواره سلولی را تقویت کرده و سلامت غشای سلولی را حفظ کند. همچنین، سیلیکات پتاسیم می‌تواند بهبود کارایی استفاده از نیتروژن و جذب فسفر و عناصر کمیاب را تنظیم کند. این کود هم‌چنین می‌تواند در تنظیم روزنه‌ای و سیستم آنزیم آنتی‌اکسیدانی نقش داشته باشد و با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و تشکیل پراکسید هیدروژن، آسیب‌های ناشی از گرمایش را کاهش دهد (۲۷). افزایش قطر طوقه زمان کاربرد هم‌زمان میکوریزا و سیلیکات پتاسیم در هنگام تنش گرمایی بیشتر از سایر تیمارها بود. میکوریزا با افزایش سطح ریشه‌ها و افزایش تعداد ریشه‌های فعال، جذب آب و مواد معدنی را افزایش می‌دهد. این امر می‌تواند در کاهش تأثیر تنش گرمایی بر روی توت‌فرنگی مؤثر باشد. هم‌چنین پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده هم‌زمان از میکوریزا و سیلیکات پتاسیم می‌تواند تأثیرات مثبت بیشتری در کاهش تنش گرمایی بر روی توت‌فرنگی داشته باشد. این ترکیب می‌تواند بهبود رشد و عملکرد گیاهان توت‌فرنگی را در شرایط تنش گرمایی افزایش دهد و بر قطر طوقه مؤثر باشد (۲۸).

صفات فیزیولوژیکی: طبق جدول تجزیه واریانس اثر دما، میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر محتوای نسبی آب و محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. درحالی‌که کلونیزاسیون ریشه تنها تحت‌تأثیر قارچ میکوریزا قرار گرفت و سایر تیمارها هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر این صفت نداشته است. در

اثر میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر صفات ... / عالیہ شفیعہ و همکاران

بررسی اثر تیمارها بر میزان نشت یونی، اگرچه اثر متقابل دما، میکوریزا و سیلیکات پتاسیم معنی دار نشده است، اما اثر ساده دما و سیلیکات پتاسیم به تنهایی و اثر متقابل سیلیکات پتاسیم و میکوریزا معنی دار شده است. میزان سیلیسیم نیز تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارها قرار نگرفته و تنها اثر دما در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شده است (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه و تحلیل واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیکی توت فرنگی.

Table 3. Analysis of variance for physiological characteristics of strawberry.

میانگین مربعات Mean square					درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
میزان سیلیسیم Root dry weight	محتوای پرولین Leaf dry weight	نشت یونی Ion leakage	محتوای آب نسبی Relative water content	کلونیزاسیون ریشه Root colonization		
0.057*	0.00073**	1122.5**	1056.44**	0.187 ^{ns}	1	دما Temperature
0.0011 ^{ns}	0.000083 ^{ns}	0.0027 ^{ns}	210.52**	26317*	1	میکوریزا Mycorrhiza
0.0005 ^{ns}	0.00053**	774.9**	74.74**	4.55 ^{ns}	2	سیلیکات پتاسیم P. silicate
0.0002 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	31.63 ^{ns}	258.1**	0.136 ^{ns}	1	دما×میکوریزا Temp. × myc.
0.0003 ^{ns}	0.00058**	178.98 ^{ns}	125.3**	4 ^{ns}	2	دما×سیلیکات Temp. × silicate
0.0003 ^{ns}	0.00055**	362.4*	372.7**	2.03 ^{ns}	2	سیلیکات×میکوریزا Temp. × silicate
0.0024 ^{ns}	0.00052**	2.3 ^{ns}	772.7**	2.03 ^{ns}	2	دما×سیلیکات×میکوریزا Temp × si× myc.
0.0134	0.000033	74.99	12.97	2.8	24	خطا Error
3.6	18.73	17.05	5.41	3.31		ضریب تغییرات C.V

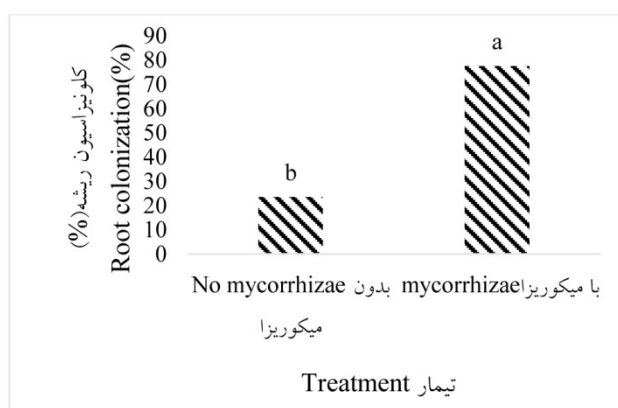
^{ns}, *, ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح پنج و یک درصد
^{ns}, *, ** are non-significant and significant and significant at 5 and 1% at probability levels, respective

است. هم‌چنین تنش دمایی و کاربرد سیلیکات پتاسیم، تأثیری روی میزان کلونیزاسیون قارچ در ریشه نداشتند. تنش دمایی و افزایش دما سبب صدمه زدن و از بین رفتن قارچ‌های میکوریزا شده که به این ترتیب موجب کاهش کلونیزاسیون ریشه در این پژوهش شد، اما این کاهش معنی دار نبوده است. بررسی‌ها نشان

کلونیزاسیون: تلقیح با قارچ میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه اثر معنی دار داشت که نشان دهنده موفقیت ایجاد همزیستی بین قارچ و گیاه بود. با توجه به شکل ۸، حدود ۷۷/۴۶ درصد از ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا، همزیستی مناسبی با این قارچ داشته‌اند که نشانه موفقیت کلونیزاسیون بوده

یافته‌های این پژوهش است. در این پژوهش درصد تلقیح قارچ‌های میکوریزا با ریشه گیاه توت‌فرنگی نشان از موفقیت ایجاد همزیستی بین این دو موجود داشته است، اما عدم تأثیر آن بر اکثر فاکتورهای ریخت‌شناسی می‌تواند مدت زمان کوتاه بررسی‌ها و طولانی بودن فرایند تأثیرگذاری باشد.

داده همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربسکولار به دمای پایین نسبت به دماهای بالا حساسیت بیشتری دارند و افزایش دما تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد تأثیر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون قارچ ایجاد نکرد؛ اما دماهای بالاتر از ۴۰ درجه باعث کاهش معنی‌داری در درصد کلونیزاسیون ریشه شد (۲۷) که کاملاً مطابق با



شکل ۸- تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون قارچ در ریشه توت‌فرنگی.

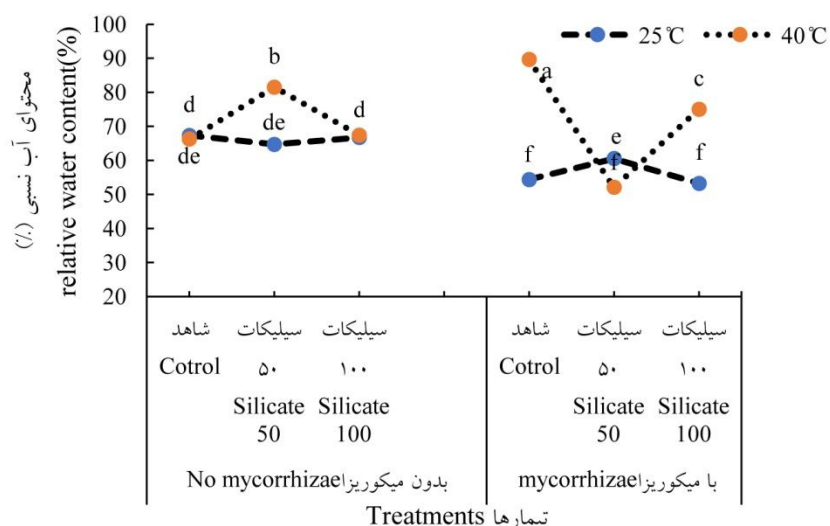
Fig. 8. The effect of inoculation with mycorrhizae on the percentage of fungal colonization in strawberry roots.

در بوته‌های تلقیح‌شده با قارچ و بدون تیمار سیلیکات پتاسیم با میانگین حدود ۸۹/۶۵ درصد مشاهده شد که با سایر سطوح تیماری تفاوت معنی‌داری ایجاد کرد. یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی مهم محتوی نسبی آب برگ می‌باشد که هم‌بستگی خوبی با مقاومت به انواع تنش نشان می‌دهد و به‌عنوان معیاری قابل‌اعتماد جهت اندازه‌گیری وضعیت آب در بافت‌های گیاهی محسوب می‌گردد (۳۰). کاربرد سیلیس می‌تواند محتوی نسبی آب برگ را افزایش دهد که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل تجمع کمتر یون‌های سمی در برگ‌ها و عوامل شناسایی نشده دیگر باشد. احتمالاً سیلیس به‌دلیل بهبود وضعیت آب در گیاه و افزایش فتوسنتز، سبب افزایش سطح برگ در شرایط تنش خشکی شده و مقاومت گیاه به تنش را افزایش می‌دهد. کاربرد سیلیس تحت بروز انواع تنش سبب افزایش اندازه برگ شد که این اثر سیلیس با بهبود

محتوای نسبی آب: با توجه به شکل ۹، محتوای نسبی آب در تیمار دمایی شاهد روند ثابتی داشت، به‌طوری‌که استفاده از غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم هم تغییری در میزان محتوای نسبی آب برگ ایجاد نمود؛ اما با اعمال تنش دمایی در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم بدون میکوریزا، میزان محتوای آب نسبی برگ افزایش معناداری نشان داد و سپس با افزایش سطح سیلیکات پتاسیم کاهش یافت. در زمان کاربرد میکوریزا و تنش دمایی بالاترین سطح محتوای نسبی آب ملاحظه گردید و با اضافه شدن سیلیکات پتاسیم ابتدا کاهش و سپس افزایش مشاهده گردید. در مجموع کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ در زمان بروز تنش دمایی در بوته‌های تیمار شده با سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و تلقیح‌شده با قارچ با میانگین ۵۲/۰۶ درصد مشاهده شد. بیش‌ترین میزان آب نسبی برگ در تیمار تنش گرمایی

شده است. در تیمار شاهد دمای تغییر محسوسی مشاهده نگردید اما به واسطه دمای بالا، تغییرات گسترده تری حاصل شد. گزارش شده که افزایش دما منجر به کاهش رطوبت نسبی در برگ گیاه توت فرنگی گردید (۳۳، ۳۴). مشابه این گزارش نشان داده شد، تنش گرمایی می تواند منجر به کاهش محتوای آب نسبی در توت فرنگی شود. این کاهش ممکن است به دلیل تبخیر زیاد آب از برگ ها و افزایش تبخیر از سطح برگ ها در شرایط گرمای بالا باشد (۳۵).

پتانسیل تورمی و وضعیت تبادل و انتقال آب در گیاه ارتباط دارد (۳۱)، که این شرایط در زمان کاربرد سیلیکات پتاسیم ۵۰ میلی گرم در لیتر در تیمار بدون میکوریزا مشاهده شد؛ اما کاربرد میکوریزا و سیلیکات پتاسیم در زمان تنش موجب کاهش محتوای آب نسبی شده است که می تواند به دلیل تأثیر منفی سیلیسیم بر آنزیم ها باشد (۳۲). اگرچه می تواند به دلیل برهم خوردن تعادل عناصر غذایی و عدم جذب عناصر توسط گیاه در زمان کاربرد سیلیکات پتاسیم باشد که موجب اثر منفی بر این پارامتر در زمان تنش

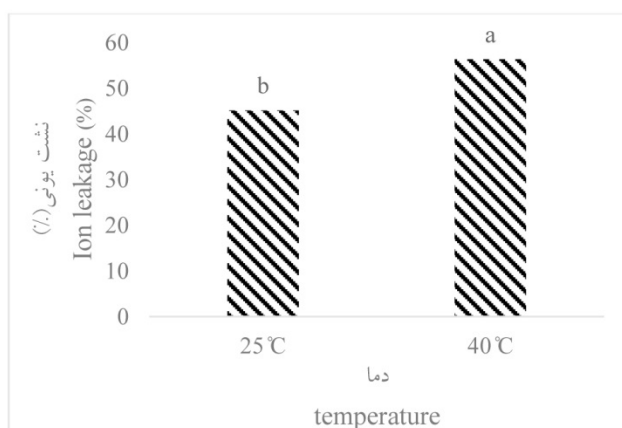


شکل ۹- اثر تنش دمایی، قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر محتوای نسبی آب برگ توت فرنگی.

Fig. 9. The effect of temperature stress, mycorrhizae and potassium silicate on the RWC of strawberry leaves.

رشد یافته در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد می تواند ناشی از عدم اختلاف دمای روز و شب در ۷۲ ساعت تیماردهی و بروز دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به طور ممتد باشد.

نشت یونی: تیمار دما به تنهایی بر نشت یونی اثر معناداری داشت. نشت یونی از غشای سلولی با بروز تنش، افزایش معنی داری به میزان ۲۰ درصد یافته است (شکل ۱۰). میزان بالای نشت یونی در گیاهان

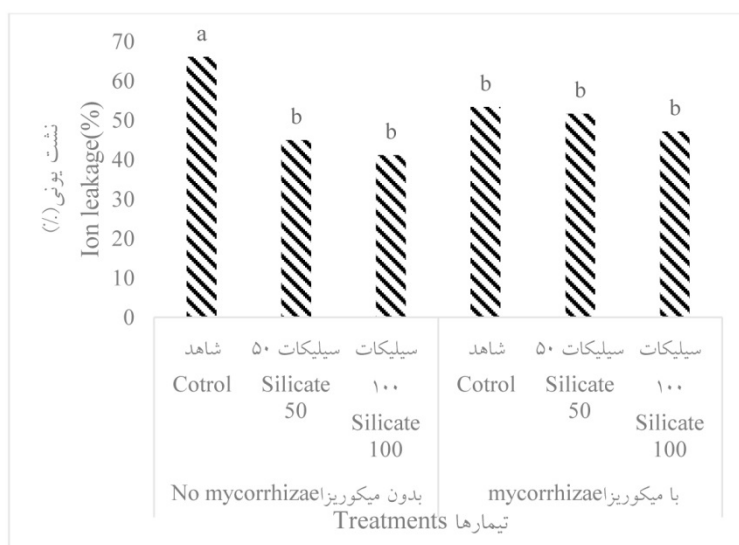


شکل ۱۰- تأثیر تنش دمایی بر درصد نشت یونی در برگ توت‌فرنگی.

Fig. 10. The effect of temperature stress on the percentage of ion leakage in strawberry leaves.

تأثیر معنی‌داری نداشت. تا این‌که در نهایت با افزودن سیلیکات پتاسیم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ضمن کاهش ۲۸/۵ درصدی نشت یونی، منجر به بروز تفاوت معناداری با شاهد گردید (شکل ۱۱).

با توجه به نتایج، تیمار شاهد بیش‌ترین نشت یونی را داشت که با کاربرد سیلیکات پتاسیم از میزان آن کاسته شده است. کاربرد سیلیکات پتاسیم تا ۳۷ درصد موجب کاهش نشت یونی شد. کاربرد میکوریزا به‌تنهایی و با وجود کاهش ۲۰ درصدی نشت یونی،



شکل ۱۱- اثر قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر محتوای نسبی آب برگ توت‌فرنگی.

Fig. 11. The effect of mycorrhizae and potassium silicate on the Ion leakage of strawberry leaves.

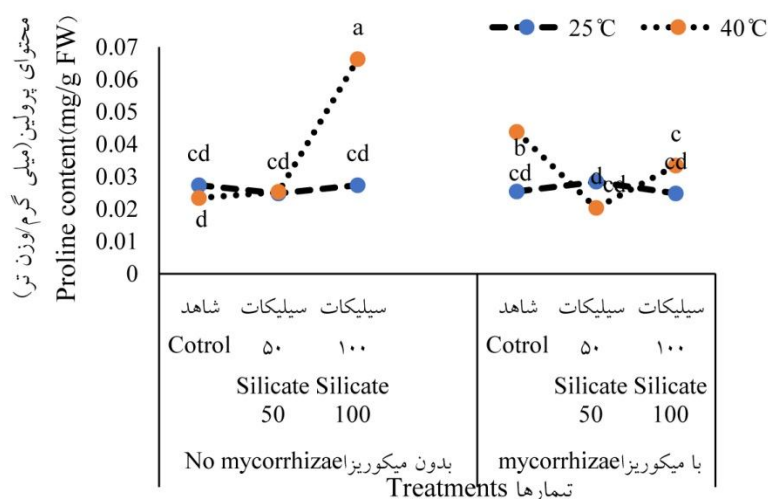
بررسی اثر دمای بالا بر برگ دو ژنوتیپ ماش مشاهده شد در شرایط تنش، میزان نشت الکترولیت‌ها از غشای سلول افزایش یافته و این اختلال در عملکرد برگ گیاهان تحت شرایط تنش به‌همراه کاهش فعالیت

در همین راستا گزارش شده با افزایش دما تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، درصد نشت سلولی ارقام سلوی و بنفشه، نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد حدود ۸۰-۹۰ برابر افزایش داشت (۴). در پژوهشی دیگر با

آنزیم‌های سنتزکننده ساکارز، بر سوخت و ساز آن تأثیر منفی داشته است (۳۶). دلیل کاهش پایداری غشاء در شرایط تنش ممکن است به بسته شدن روزنه‌ها در این شرایط مرتبط باشد که با افزایش رادیکال‌های آزاد به‌ویژه پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، میزان مالون دی‌آلدهید (MDA) افزایش یافته و غشاء سلولی تخریب شده و نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد. پایداری و عملکرد غشای سلولی به‌طور محسوسی به تغییرات دما حساس است. کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث کاهش نشت یونی از غشای سلولی برگ توت‌فرنگی تحت تنش دمای بالا شد. در همین راستا، گزارش‌شده که سیلیسیم با تشکیل لایه مضاعف در بافت اپیدرم برگ از گیاه در مقابل بروز انواع تنش‌های زیستی و غیر زیستی حفاظت کرده و با رسوب در دیواره سلولی آوندها از فروریختن آن‌ها در شرایط تعرق ناشی از تنش جلوگیری می‌کند (۳۷). در شرایط تنش، سیلیسیم با ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدهای غشای وابسته به تنش، منجر به کاهش نشت الکترولیت‌ها و حفظ ساختار و یکپارچگی غشای سلولی گیاه ذرت در این شرایط می‌گردد (۳۸).

پرویلین: با بروز تنش دمایی، نقش تیمارها پررنگ‌تر شد، به‌طوری‌که هنگام بروز تنش گرمایی در گیاهان فاقد میکوریزا، با کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش جزئی به میزان ۲ درصد رخ داد؛ اما در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، افزایش معنی‌دار ۱/۶ برابری در محتوای پرویلین مشاهده شد که از شاهد با میانگین ۰/۰۲۳ میکرومول بر گرم به ۰/۰۶۶۳ میکرومول بر گرم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. درحالی‌که در گیاهان تحت تنش گرمایی با افزودن میکوریزا، کاربرد سیلیکات پتاسیم تأثیر منفی

بر محتوای پرویلین داشت که این تأثیر در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌تر بوده و تا بیش از ۱۰۰ درصد کاهش نشان داده است (شکل ۱۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بروز انواع تنش موجب افزایش میزان پرویلین شده و کاربرد سیلیسیم میزان آن را کاهش می‌دهد. اسیدآمینو پرویلین به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی درون برگ عمل کرده و موجب جذب بیشتر آب از خاک و مقاومت به انواع تنش می‌شود. کلروفیل و پرویلین هر دو دارای پیش‌ماده مشترکی به نام گلوتامات بوده و از آن سنتز می‌شوند. احتمالاً کاربرد سیلیسیم موجب افزایش سنتز کلروفیل شده و در نهایت به کاهش سنتز پرویلین منجر می‌گردد. برخی تغییرات فیزیولوژیک گیاهان مقاوم به انواع تنش در طول بروز تنش موجب ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی مانند قندها، اسیدهای آمینه، هورمون‌ها، برخی از یون‌های معدنی و بعضی از پروتئین‌ها می‌گردد (۳۹). تجمع املاح سازگاری مثل پرویلین از طریق حفظ رطوبت مورد نیاز برای رشد گیاهان به عملکرد بهتر سلول‌ها کمک می‌کند که غلظت این اسیدآمینو می‌تواند به‌عنوان نشانگری زیست‌شیمیایی برای سنجش میزان تنش به‌کار رود (۴۰). تلقیح ریشه توت‌فرنگی با قارچ میکوریزا تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای این گیاه فراهم کرده و به این ترتیب از اثرات تنش دمایی کاسته است که با نتایج پژوهش‌گرانی که نشان دادند میزان متفاوت انباشت پرویلین در ژنوتیپ‌های مختلف تره در تلقیح با قارچ میکوریزا می‌تواند درجات متفاوتی از تنظیم اسمزی در ارقام تره ایجاد نماید، مطابقت دارد (۴۱).

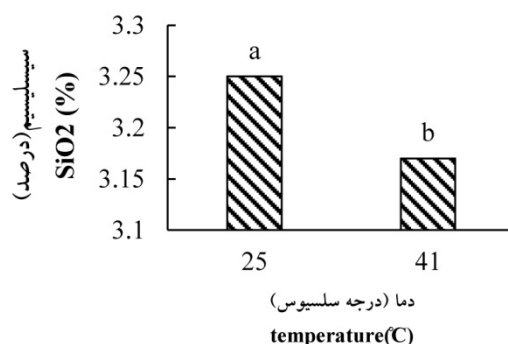


شکل ۱۲- اثر تنش دمای، قارچ میکوریزا و سیلیکات پتاسیم بر محتوای پرولین برگ توت‌فرنگی.

Fig. 12. The effect of temperature stress, mycorrhizae and potassium silicate on the proline content of strawberry leaves.

مشاهده گردید که دمای بالای محیط مانع از تجمع سیلیسیم در بافت گیاه شد (۴۲). در پژوهشی دیگر نیز افزایش غلظت سیلیسیوم در برگ گیاه توت‌فرنگی را در نتیجه تیمار سیلیسیوم مشاهده کردند، به‌طوری‌که با افزایش غلظت عنصر سیلیسیوم، میزان سیلیسیوم برگ نیز افزایش پیدا کرد (۴۳). همچنین افزایش معنی‌دار غلظت سیلیسیم در اندام هوایی خیار را در نتیجه کاربرد این عنصر در مرحله رشد گیاه مشاهده شد (۴۴).

سیلیسیم: در این پژوهش، میزان سیلیسیم بافت برگ توت‌فرنگی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در سطح بالایی قرار داشت اما با بروز تنش گرمایی از میزان آن کاسته شد، به‌طوری‌که میزان سیلیسیم بافت برگ توت‌فرنگی با بروز تنش، کاهش معنی‌داری به میزان ۲/۵ درصد یافته است (شکل ۹). در همین راستا، گزارش شده که بیش‌ترین میزان سیلیسیم اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی در تیمار محلول‌دهی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیوم و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد



شکل ۱۳- تأثیر تنش دمای بر میزان سیلیسیم بافت برگ توت‌فرنگی.

Fig. 13. The effect of temperature stress on the amount of silicon in strawberry leaves.

نتیجه گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که تنش دمای بالا موجب کاهش شاخص های ریخت شناسی مانند محتوای نسبی آب برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک برگ، کاهش قطر طوقه و میزان سیلیسیم شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب اثر معنی دار بر محتوای نسبی آب برگ، وزن تر برگ و طوقه، وزن خشک برگ، ریشه، قطر طوقه، طول روندک، نشت یونی و محتوای پرولین گذاشت. بهترین غلظت سیلیکات پتاسیم در بررسی ها در برخی شاخص ها مثل وزن تر و خشک برگ غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر و در برخی فاکتورها مانند وزن تر و قطر طوقه غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بود. کاربرد

قارچ میکوریزا به تنهایی و در کنار سیلیکات پتاسیم تأثیر مثبتی بر شاخص های مورد اندازه گیری داشت. تلقیح با قارچ میکوریزا سبب تأثیر معنی دار بر وزن تر برگ و طوقه، وزن خشک برگ، ریشه و طوقه، قطر طوقه، تعداد و طول روندک، محتوای آب نسبی برگ و شد. در نهایت، مشخص شد که تنش دمای بالا بسیاری از فاکتورهای ریخت شناسی و فیزیولوژیکی گیاه توت فرنگی را تحت تأثیر قرار می دهد که کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر توأم با قارچ میکوریزا، از ورود آسیب تنش دمای بالا به بخش های مختلف گیاه جلوگیری می نماید.

منابع

- 1.Else, M., & Atkinson, C. (2010). Climate change impacts on UK top and soft fruit production. *Outlook on Agriculture*, 39(4), 257-262.
- 2.Fan, W., Zhang, M., Zhang, H., & Zhang, P. (2012). Improved tolerance to various abiotic stresses in transgenic sweet potato (*Ipomoea batatas*) expressing spinach betaine aldehyde dehydrogenase. *PloS one*, 7(5), e37344.
- 3.Kesici, M., Gulen, H., Ergin, S., Turhan, E., Ahmet, I. P. E. K., & Koksai, N. (2013). Heat-stress tolerance of some strawberry (*Fragaria*× *ananassa*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 244-249.
- 4.Natarajan, S. (2005). High temperature stress responses of *Salvia splendens* and *Viola X wittrockiana*. PhD Diss, Louisian State University. 154 p.
- 5.Zsófi, Z., Váradi, G., Bálo, B., Marschall, M., Nagy, Z., & Dulai, S. (2009). Heat acclimation of grapevine leaf photosynthesis: mezo-and macroclimatic aspects. *Functional Plant Biology*, 36(4), 310-322.
- 6.Liang, Y., Hua, H., Zhu, Y. G., Zhang, J., Cheng, C., & Romheld, V. (2006). Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. *New phytologist*, 172(1), 63-72.
- 7.Taheri, M., & Haghighi, M. (2018). Benzyl adenine is more effective than potassium silicate on decreasing the detrimental effects of heat stress in pepper (*Capsicum annum* cv. PS301). *Iran Agricultural Research*, 37(1), 89-98. [In Persian]
- 8.Mirabbasi, N., Nikbakht, A., Etemadi, N., & Sabzalian, M. R. (2013). Effect of different concentrations of potassium silicate, nano-silicon and calcium chloride on concentration of potassium, calcium and magnesium, chlorophyll content and number of florets of Asiatic lily cv. 'Brunello'. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 4(2), 41-50. [In Persian]
- 9.Whetzel, H. H. (1918). *An outline of the history of phytopathology*. WB Saunders.
- 10.Eskandari, S., Guppy, C. N., Knox, O. G., Flavel, R. J., Backhouse, D., & Haling, R. E. (2017). Mycorrhizal

- contribution to phosphorus nutrition of cotton in low and highly sodic soils using dual isotope labelling (32P and 33P). *Soil Biology and Biochemistry*, 105, 37-44.
11. Nagarathna, T. K., Prasad, T. G., Bagyaraj, D. J., & Shadakshari, Y. G. (2007). Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture status. *Journal of Agricultural Technology*, 3(2), 221-229.
12. Wright, S. F. (2005). Management of arbuscular mycorrhizal fungi. *Roots and soil management: interactions between roots and the soil*, 48, 181-197.
13. Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K. G. (2002). Soil factors in relation to distribution and occurrence of vesicular arbuscular mycorrhiza. In *Techniques in mycorrhizal studies* (pp. 51-85). Dordrecht: Springer Netherlands.
14. Huang, H., Zhang, S., Wu, N., Luo, L., & Christie, P. (2009). Influence of *Glomus etunicatum*/Zea mays mycorrhiza on atrazine degradation, soil phosphatase and dehydrogenase activities, and soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(4), 726-734.
15. Bitterlich, M., Krügel, U., Boldt-Burisch, K., Franken, P., & Kühn, C. (2014). The sucrose transporter Sl SUT 2 from tomato interacts with brassinosteroid functioning and affects arbuscular mycorrhiza formation. *The Plant Journal*, 78(5), 877-889.
16. Matsubara, Y. S., Hirano, I., Come on, D., & Koshikawa, K. (2004). Increased tolerance to Fusarium wilt in mycorrhizal strawberry plants raised by capillary watering methods. *Environment Control in Biology*, 42(3), 185-191.
17. Sánchez, F. J., Manzanares, M., de Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field crops research*, 59(3), 225-235.
18. Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of botany*, 78(3), 389-398.
19. Kormanik, P. P., & McGraw, A. C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizas in plant roots. In *Methods and Principles of Mycorrhizal Research* (Ed. by N. C. Schenck), *The American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota*. pp. 37-45.
20. Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
21. Hallmark, C. T., Wilding, L. P., & Smeck, N. E. (1983). Silicon. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 263-273.
22. Widada, J., Damarjaya, D. I., & Kabirun, S. (2007). The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil. In *First international meeting on microbial phosphate solubilization* (pp. 173-177). Springer, Dordrecht.
23. Ilbas, A. I., & Sahin, S. (2005). *Glomus fasciculatum* inoculation improves soybean production. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 55(4), 287-292.
24. Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M. L., Porras-Piedra, A., & Azcón, R. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of plant physiology*, 166(13), 1350-1359.
25. Ortaş, İ. (1996). The influence of use of different rates of mycorrhizal inoculum on root infection, plant growth, and phosphorus uptake. *Communications in soil science and plant analysis*, 27(18-20), 2935-2946.
26. Xiao, J., Li, Y., & Jeong, B. R. (2022). Foliar Silicon Spray to Strawberry Plants during Summer Cutting Propagation Enhances Resistance of

- Transplants to High Temperature Stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 938128.
27. Li, Y., Xiao, J., Hu, J., & Jeong, B. R. (2020). Method of silicon application affects quality of strawberry daughter plants during cutting propagation in hydroponic substrate system. *Agronomy*, 10(11), 1753.
 28. Moradtalab, N., Hajiboland, R., Aliasgharzad, N., Hartmann, T. E., & Neumann, G. (2019). Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. *Agronomy*, 9(1), 41.
 29. Zhu, X., Song, F., & Liu, F. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of temperature stress in plants. *Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants*, 163-194.
 30. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F., & Mornhinweg, D. W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*, 28(3), 526-531.
 31. Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., & Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of plant physiology*, 163(8), 847-855.
 32. Li, Y., Xiao, J., Hu, J., & Jeong, B. R. (2020). Method of silicon application affects quality of strawberry daughter plants during cutting propagation in hydroponic substrate system. *Agronomy*, 10(11), 1753.
 33. Gulen, H., & Eris, A. (2003). Some physiological changes in strawberry (*Fragaria × ananassa* 'Camarosa') plants under heat stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(6), 894-898.
 34. Gulen, H., & Eris, A. (2004). Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Science*, 166(3), 739-744.
 35. Kesici, M., Gulen, H., Ergin, S., Turhan, E., Ahmet, I. P. E. K., & Koksall, N. (2013). Heat-stress tolerance of some strawberry (*Fragaria × ananassa*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 244-249.
 36. Kaur, R., Bains, T. S., Bindumadhava, H., & Nayyar, H. (2015). Responses of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes to heat stress: Effects on reproductive biology, leaf function and yield traits. *Scientia Horticulturae*, 197, 527-541.
 37. Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 66-81.
 38. Agarie, S., Miura, A., Sumikura, R., Tsukamoto, S., Nose, A., Arima, S., & Miyao-Tokutomi, M. (2002). Overexpression of C4 PEPC caused O₂-insensitive photosynthesis in transgenic rice plants. *Plant Science*, 162(2), 257-265.
 39. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161(11), 1189-1202.
 40. Ez-zohra, I. F., Said, Q. S. A. I. B., Mohamed, F. A. I. Z. E., & Tayeb, K. O. U. S. S. A. (2014). Biochemical Changes in Grapevines Roots in Responses to Osmotic Stress. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(7), 1-5.
 41. Jokar, N. G., Nadian, H., Moghaddam, B. K., & Gharineh, M. H. (2016). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on some macro nutrient uptake in three leek genotypes with different root morphology. *Journal of Water and Soil*, 29(1), 198-209. [In Persian]
 42. Yousefi, R., & Esna-ashari, M. (2017). The effect of Micro- and Nanoparticles of silicon on concentration of macro- and micro elements and silicon content of strawberry plant in soilless culture condition. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 8(1), 58-71. [In Persian]

43. Seyed lor, L., Tabatabaei, J., & Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Science*, 23(1), 88-95. [In Persian]
44. Abd-Alkarim, E., Bayoumi, Y., Metwally, E., & Rakha, M. (2017). Silicon supplements affect yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in net houses. *African Journal of Agricultural Research*, 12(31), 2518-2523.