

The Effect of Different Concentrations of Salicylic Acid in Increasing Resistance to Heat Stress in Cucumber (*Cucumis sativa* var. rashid)

Introduction

Cucumber is an important plant that grows all over the world and is very sensitive to prevailing temperature conditions. The optimum temperature for its growth is 20 to 30 °C, and abnormal growth is very common at temperatures above 35 °C. Temperatures above 40°C in the long term often lead to impaired metabolic function, water loss and wilting of cucumbers, and temperatures above 50°C in the short term lead to the destruction of macromolecules, cell structure damage, dehydration and death. It has a great effect on the performance and quality of cucumbers. On the other hand, Salicylic acid is known as one of the multifunctional phytohormones widely found in plants. It is also an important biological stimulus that plays a role in regulating the growth and growth stages of horticultural crops. Productivity of horticultural crops has been improved by supplemental use of even small amounts of salicylic acid. It has a good ability to reduce oxidative damage caused by excessive production of reactive oxygen species, potential increase in photosynthesis, chlorophyll pigments and stomatal regulation. Physiological and biochemical processes have shown that SA increases signaling molecules, enzymatic and non-enzymatic antioxidants, osmolytes and secondary metabolites in plant cell compartments. Other studies show that exogenous SA increases plant tolerance to high abiotic stress by improving the activity of antibiotic enzymes.

Materials and Methods

This research was done in factorial form in completely randomized design with 3 replications on Rashid variety cucumber. The factors included 4 levels of temperature (25, 30, 35 and 40 degrees Celsius) and 3 levels of salicylic acid (0, 0.5 and 1 mM). When the seedlings reached the two-leaf stage, they were sprayed with different concentrations of salicylic acid two times with an interval of five days. One week after the application of salicylic acid, temperature treatment was gradually applied. After applying each heat treatment, the corresponding pots were transferred to the greenhouse with a temperature of 25 degrees Celsius. Then, fresh and dry weight of root and shoot, leaf surface, chlorophyll index, electrolyte leakage, proline, polyphenol oxidase enzyme activity and superoxide dismutase enzyme activity were measured.

Results and Discussion

High temperature in summer is an important factor for reducing the growth and yield of cucumber in many parts of the country. Regarding the positive effect of plant growth regulator (salicylic acid) on reducing the adverse effects of heat stress, an experiment was conducted to investigate the effect of salicylic acid on reducing the adverse effects of heat stress on cucumber seedlings on Rashid cultivar in a factorial based on completely randomized design with four temperature treatments (25, 30, 35 and 40 °C) and three salicylic acid concentrations (0, 0.5 and 1 mM) were designed. The results showed that heat stress decreased fresh and dry weight of shoots and roots, leaf surface, relative chlorophyll and polyphenol oxidase and increased the amount of electrolyte leakage, proline and superoxide dismutase. The application of 1 mM salicylic acid reduced the negative effects of temperature stress in such a way that it increased the dry weight of roots, fresh and dry weight of shoots by 36, 16.4 and 23.7% respectively compared to the control and also reduced electrolyte leakage by 13% and the relative chlorophyll, leaf surface, proline, polyphenol oxidase and superoxide dismutase levels increased by 9.7, 2, 37.7, 35.6 and

31.51%, respectively, compared to the control. The mutual effects of salicylic acid and heat stress on stem fresh weight, chlorophyll index, leaf surface, electrolyte leakage, proline polyphenol oxidase and superoxide dismutase were significant. In general, the application of 1 mM salicylic acid reduced the negative effects of heat stress on cucumber Rashid cultivar.

Conclusions

High temperatures caused disturbances in the growth and performance of cucumbers, as the results of this experiment showed, high temperatures caused a decrease in fresh and dry weight of roots and shoots, a decrease in chlorophyll, leaf surface and polyphenol oxidase enzyme activity, while the use of salicylic acid decreased electrolyte leakage, proline, polyphenol oxidase and superoxide dismutase increased. In general, the best progeny was related to the application of 1 mM salicylic acid, which reduced the negative effects of heat stress on Rashid variety cucumber and improved its growth.

Keywords: Cucumber, Electrolyte leakage, Heat Stress, Proline, superoxide dismutase.

المجلة
البيئية
البيئية

اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت به تنش گرما در خیار رقم رشید

لیلا چهل تنان - سعید خسروی* - سید حسین نعمتی

گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*- saeedkhosravi0938@mail.um.ac.ir

چکیده

دمای بالا در تابستان از عوامل مهم کاهش رشد و عملکرد خیار در بسیاری از مناطق کشور می‌باشد. با توجه به تأثیر مثبت تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های مختلف، آزمایشی به منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرهای نامطلوب تنش گرما بر روی دانه‌های خیار رقم رشید به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار دمایی (۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و سه غلظت سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و بررسی شد. نتایج نشان داد تنش گرمایی وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، شاخص کلروفیل و پلی‌فنل اکسیداز را کاهش و مقدار نشت یونی، پرولین و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد. کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث کاهش اثرهای منفی تنش دمایی شد، به نحوی که سبب افزایش وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب به میزان ۳۶، ۱۶/۴ و ۲۳/۷ درصد نسبت به شاهد و همچنین کاهش نشت یونی به میزان ۱۳ درصد و افزایش شاخص کلروفیل، سطح برگ، میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب به میزان ۹/۷، ۲، ۳۷/۷، ۳۵/۶ و ۳۱/۵۱ درصدی نسبت به شاهد شد. اثرات متقابل سالیسیلیک اسید و تنش گرما بر وزن تر ساقه، شاخص کلروفیل، سطح برگ، نشت یونی، پرولین، فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بود. بطور کلی بهترین نتایج مربوط به کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود که به طور معنی‌داری سبب کاهش اثرات منفی تنش گرمایی بر خیار رقم رشید شد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش گرما، خیار، سوپراکسید دیسموتاز، نشت یونی.

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد و توسعه خود با تنش‌های متعدد غیرزنده از جمله دمای بالا و پایین، خشکی و شوری مواجه می‌شوند. دمای بالا یکی از تنش‌های مهم غیرزنده است که نه تنها سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصولات می‌شود بلکه باعث آسیب مستقیم به گیاهان از جمله دنا توره شدن پروتئین، افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Bingwei et al., 2018).

خيار (*Cucumis sativus* L.) یک از محصولات مهم مناطق نیمه گرمسیری است که کشت و تولید آن در سراسر دنیا صورت می‌گیرد. به‌عنوان یک محصول گرماگرا دمای مطلوب برای رشد خیار ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد اغلب منجر به آسیب‌های حرارتی، پژمردگی و خم‌شدگی برگ و ساقه می‌شود و دوره‌های دمایی کوتاه، بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد منجر به مرگ بافت‌ها می‌شود. به‌طور کلی تنش گرمایی یک تهدید قابل توجه برای رشد و توسعه خیار می‌باشد که بر عملکرد و کیفیت آن در طول تابستان تأثیر می‌گذارد (Hongal *et al.*, 2023). در خیار تنش دمایی (۴۰ درجه سانتی‌گراد) سبب افزایش پراکسید هیدروژن، پراکسیداسیون لیپید و نشت یونی شد (Shi *et al.*, 2006). در پژوهش دیگری که توسط دینگ و همکاران (Ding *et al.*, 2016) انجام شد تنش گرما سبب افزایش پرولین، تعرق و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در خیار شد. در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) تنش دمایی (۴۲ درجه سانتی‌گراد) سبب افزایش پراکسید هیدروژن و نشت یونی و همچنین کاهش عملکرد دستگاه فتوسنتزی شد (Jahan *et al.*, 2019). در ایران معمولاً دمای هوا در فصل تابستان در بسیاری از مناطق کشت و کار خیار بالا است و همین عامل سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Baninasab and Ghobadi, 2011).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی شناخته می‌شود که دارای یک حلقه آروماتیکی با یک گروه هیدروکسیل می‌باشد که به گروه ترکیبات فنولی تعلق دارد. سالیسیلیک اسید باعث کاهش صدمات اکسیداتیو ناشی از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فتوستنز، رنگدانه‌های کلروفیل و تنظیم روزنه می‌شود. بررسی فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش مولکول‌های سیگنال‌دهنده، آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی، اسمولیت‌ها و متابولیت‌های ثانویه در بخش‌های مختلف گیاهان می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید حتی در مقادیر ناچیز باعث بهبود عملکرد محصولات باغی می‌شود (Chen *et al.*, 2023). مکانیسم عمل سالیسیلیک اسید در برابر تنش‌ها به نقش آن در تنظیم آنزیم‌های آنتی-اکسیداتیو و ترکیبات دارای گونه‌های فعال اکسیژن برمی‌گردد (Khan *et al.*, 2003). کاربرد سالیسیلیک اسید در دانه‌های خیار تحت تنش خشکی سبب افزایش شاخص کلروفیل، تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک شاخساره و ریشه نسبت به شاهد گردید (Bayat *et al.*, 2011). طبق گزارشات سالیسیلیک اسید از طریق جلوگیری از تخریب کلروپلاست و افزایش ظرفیت انتقال الکترون توسط فتوسیستم II باعث افزایش فتوستنز می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003). مکانیسم دیگر این است که سالیسیلیک اسید با افزایش هدایت روزنه‌ای و افزایش انتشار دی‌اکسید کربن به درون برگ سبب افزایش فتوستنز می‌گردد (Khan *et al.*, 2003). استفاده از سالیسیلیک اسید به صورت محلول‌پاشی بر روی خیار موجب القای مقاومت به گرما و کاهش نشت یونی، پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون گردید (Shi *et al.*, 2006). به‌طور کلی سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و پروتئین سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزنده می‌شود (Preet *et al.*, 2023). پوردانوا و پوپووا (Yordanova and Popova, 2007) گزارش کردند که استفاده از سالیسیلیک اسید تنها به مدت ۲۴ ساعت قبل از تیمار سرمایی، از فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان کلروفیل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت محافظت می‌کند. غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دانه‌های خیار باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ، قطر ساقه، تعداد برگ و کلروفیل در شرایط تنش شوری شد (Yildirim *et al.*, 2008). استفاده از سالیسیلیک اسید از طریق افزایش تقسیم سلولی مریستم انتهایی سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Shakirova *et al.*, 2003). در خیار کاربرد سالیسیلیک اسید با کاهش نشت یونی و کاهش آسیب‌غشایی سبب کاهش اثرات سوء ناشی از تنش سرمایی شد (Orabi *et al.*, 2011).

2010). در گوجه‌فرنگی سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت فتوسنتزی و بهبود عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب افزایش تحمل به گرما شد (Jahan et al., 2019).

دمای بالا رشد و عملکرد خیار را تحت تأثیر قرار می‌دهد از طرفی منابع ژنتیکی متحمل به درجه حرارت بالا در این محصول بسیار کم است بنابراین یافتن راهکاری جهت افزایش تحمل به دمای بالا در این گیاهان بسیار ضروری است (Bingwei et al., 2018). با توجه به نقش مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت در برابر تنش دمای بالا در گیاهان، در این تحقیق از سالیسیلیک اسید به منظور کاهش اثر منفی تنش دمای بالا بر خیار رقم رشید استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار بر روی خیار رقم رشید انجام گرفت. فاکتورها شامل ۴ سطح دما (۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی-گراد) و ۳ سطح سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بود. در فروردین‌ماه بذرهای خیار رقم رشید تهیه و در گلدان‌های سایز ۶ با مخلوطی از کوکوپیت، پیت‌ماس و خاک به نسبت ۱:۱:۱ کشت شدند (در هر گلدان سه عدد بذر کشت شد که پس از جوانه‌زنی یک دانه‌ال حفظ و بقیه حذف شد) و به گلخانه با نور طبیعی و دمای روزانه ۲۵ و شبانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد منقل شدند. وقتی دانه‌ال‌ها به مرحله دو برگی رسیدند (سه هفته پس از کشت بذور) با غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (۰ (شاهد)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در دو نوبت به فاصله پنج روز و تا مرحله قطره‌ریزان محلول-پاشی شدند. یک هفته پس از کاربرد سالیسیلیک اسید تیمار دمایی به صورت تدریجی اعمال شد، بدین منظور ابتدا تمامی گلدان‌ها به جز شاهد ۱۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در داخل انکوباتور قرار گرفتند، سپس تیمارهای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد ۱۲ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و در نهایت تنها تیمار ۴۰ درجه سانتی-گراد ۱۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در داخل انکوباتور قرار گرفت. پس از اعمال هر تیمار گرمایی گلدان‌های مربوطه به گلخانه با دمای روزانه ۲۵ و شبانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد و ۱۲ ساعت روشنایی با نور طبیعی منتقل و ۲۴ ساعت پس از پایان تیمار دمایی اندازه‌گیری صفات انجام گرفت.

سطح برگ (توسط دستگاه Leaf Area Meter) و اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (مدل Hansateach Instruments CL-01 ساخت انگلستان) انجام گرفت. ساقه و ریشه جدا شده و وزن تر آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد، سپس ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد همچنین درصد وزن تر و خشک ریشه به وزن تر و خشک اندام هوایی نیز محاسبه شد. میزان پرولین برگ بر اساس روش بتیس و همکاران (Bates et al., 1996) در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان نشت یونی بر طبق روش لاتس و همکاران (Lutts et al., 1996) صورت گرفت، به این منظور دو قطعه یک سانتی‌متری از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته به مدت ۱۲ ساعت در ۲۵ سی‌سی آب دیونیزه قرار داده شد پس از آن میزان هدایت الکتریکی محلول (Lt) توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری گردید سپس به مدت بیست دقیقه درون اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Lo). در ادامه درصد نشت یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{درصد نشت یونی} = [Lt/Lo] \times 100$$

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ابتدا ۰/۱ گرم از بافت برگ ساییده شد سپس یک میلی‌لیتر بافر استخراج به آن افزوده شد و ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد و از محلول

شفاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیمها استفاده شد، برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به عصاره آنزیمی بافر فسفات عمومی، ریوفلاوین، متیونین و NBT افزوده و جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر بر حسب واحد بر گرم وزن تازه محاسبه شد (Giannopolitis and Ries, 1997). برای سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز به عصاره آنزیمی، بافر فسفات عمومی، گایاکول و آب اکسیژنه افزوده شد و میزان جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد (Soliva *et al.*, 2001). داده‌ها با استفاده از نرم افزار Statistix8 با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد آنالیز شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما بر وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تأثیر سالیسیلیک اسید نیز بر وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود اما اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید فقط بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، با افزایش دما وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش یافت که بیشترین کاهش مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود. کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار منجر به افزایش به ترتیب ۱۶/۴ و ۲۳/۷ درصدی وزن تر و خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد اما بین تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱). اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد نسبت افزایش ۲۹/۵ درصدی و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ۱/۹ برابری وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد مربوطه شد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات دانه‌های خیار تحت تنش دمایی

Table 1- The ANOVA results for the effect of different concentrations of salicylic acid on the properties of cucumber seedling under temperature stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares					
		وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی Percentage of dry weight of root to shoot	درصد وزن تر ریشه به وزن تر اندام هوایی Percentage of fresh weight of root to shoot
دما temperature	3	7.02**	0.0600**	1.95**	0.0400**	805.788**	57.766 nd
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	1.05*	0.0350**	0.50 ^{ns}	0.0060*	81.071 ^{ns}	91.660 ^{ns}
دما × سالیسیلیک اسید Temperature × Salicylic acid	6	0.63*	0.0009 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	17.716 ^{ns}	114.345 ^{ns}
خطا Error	24	0.24	0.0050	0.19	0.0010	60.254	106.873
ضریب تغییرات (درصد)	-	12.47	18.11	24.83	23.1	19.39	23.36

وزن تر و خشک ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود در حالی که کاربرد سالیسیلیک اسید فقط بر وزن خشک ریشه تأثیر معنی داری در سطح احتمال پنج درصد داشت، همچنین بر همکنش دما و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی داری بر این شاخص‌ها نداشت (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به وزن خشک ریشه نشان داد بین تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشت، اما غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید با اختلاف معنی داری نسبت به شاهد (۳۶ درصد) وزن خشک ریشه را افزایش داد (جدول ۲).

درصد وزن تر و خشک ریشه به وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی دار دما بر درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد می‌باشد در حالی که دما تأثیر معنی داری بر درصد وزن تر ریشه به وزن تر اندام هوایی نداشت همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید و اثر متقابل دما و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی داری بر درصد وزن تر و خشک ریشه به وزن تر و خشک اندام هوایی نداشت (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش دما درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی به طور معنی داری کاهش یافت به گونه‌ای که دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد درصد سبب کاهش ۳۷ درصدی وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲).

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که دمای بالا باعث کاهش ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه خیار مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی شد. تنش دمای بالا سبب کاهش اندازه سلول و در نتیجه تغییر فعالیت‌های متابولیکی و کاهش رشد گیاه شده و با کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2013). دمای بالا در فلفل (*Capsicum annuum* L.) نیز سبب کاهش وزن تر ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی شد که با نتایج پژوهش حاضر همسو است (Taheri and Haghghi, 2018). نتیجه پژوهش‌ها نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید سبب بهبود روند رشدی گیاه می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید در توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) در شرایط تنش شوری سبب افزایش وزن خشک برگ شد (Samadi et al., 2018). کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در توت‌فرنگی تحت تنش شوری سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه شد (Karlidag et al., 2009). در خیار نیز کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش وزن تر و خشک ساقه و ریشه در شرایط تنش شوری شد (Yildirim et al., 2008). براساس نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید از نظر فاکتورهای مورد بررسی تفاوت معنی داری با شاهد نداشت و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که غلظت بالاتر سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) غلظت مناسب‌تری برای تأثیر بر فاکتورهای مورد بررسی هست. تأثیر مثبت سالیسیلیک بر رشد می‌تواند به دلایلی چون افزایش میزان تقسیم سلولی در مناطق مریستمی و یا افزایش مقدار اکسین باشد (Shakirova et al., 2003).

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات دانه‌های خیار تحت تنش دمایی

Table 2- The effect of different concentrations of salicylic acid on the characteristics of cucumber seedling under temperature stress

دما Temperature (°C)

سالیسیلیک اسید (میلی مولار) Salicylic acid (mM)	25	30	35	40	میانگین Mean
وزن تر اندام هوایی (گرم) Shoot fresh weigh (gr)					
0	4.80 ^a	4.73 ^a	3.23 ^{de}	1.90 ^f	3.66 ^B
0.5	4.60 ^{ab}	4.46 ^{ab}	3.86 ^{b-d}	2.93 ^e	3.96 ^{AB}
1	4.50 ^{ab}	4.80 ^a	4.17 ^{a-c}	3.56 ^{c-e}	4.26 ^A
میانگین Mean	4.63 ^A	4.67 ^A	3.75 ^B	2.80 ^C	
وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot dry weight (gr)					
0	0.44 ^{abc}	0.42 ^{abc}	0.40 ^{abc}	0.25 ^{de}	0.38 ^B
0.5	0.45 ^{abc}	0.42 ^{abc}	0.35 ^{cde}	0.24 ^e	0.37 ^B
1	0.51 ^a	0.50 ^a	0.47 ^{ab}	0.37 ^{bcd}	0.47 ^A
میانگین Mean	0.47 ^A	0.45 ^A	0.41 ^A	0.29 ^B	
وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (gr)					
0	2.07 ^{a-d}	1.81 ^{a-d}	1.45 ^{c-e}	0.96 ^e	1.57 ^B
0.5	2.23 ^{ab}	1.91 ^{a-d}	1.53 ^{b-e}	1.01 ^e	1.67 ^{AB}
1	2.35 ^a	2.17 ^{a-c}	1.93 ^{a-d}	1.43 ^{de}	1.97 ^A
میانگین Mean	2.22 ^A	1.97 ^{AB}	1.64 ^B	1.14 ^C	
وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (gr)					
0	0.20 ^{ab}	0.19 ^{ab}	0.12 ^{cd}	0.07 ^d	0.14 ^B
0.5	0.23 ^{ab}	0.21 ^{ab}	0.12 ^{cd}	0.07 ^d	0.16 ^{AB}
1	0.24 ^a	0.23 ^{ab}	0.17 ^{bc}	0.12 ^{cd}	0.19 ^A
میانگین Mean	0.23 ^A	0.21 ^A	0.13 ^B	0.09 ^C	
درصد وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی Percentage of dry weight of root to shoot					
0	45.60 ^{a-c}	46.63 ^{a-c}	29.48 ^e	27.89 ^e	37.40 ^A
0.5	52.43 ^a	52.14 ^a	33.96 ^{c-e}	31.85 ^{de}	42.59 ^A
1	47.61 ^{ab}	44.57 ^{a-d}	36.21 ^{b-e}	31.94 ^{de}	40.08 ^A
میانگین Mean	48.54 ^A	47.48 ^A	33.22 ^B	30.56 ^B	

ns, ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر دما، کاربرد سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید بر سطح برگ دانه‌های خیار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد دماهای بالا (۳۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد) سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ شد، همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید تنها در غلظت ۱ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ نسبت به شاهد شد که این افزایش ۱/۲ درصد بود. اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ۳/۶ درصدی سطح برگ نسبت به شاهد مربوط به خود شد (جدول ۴). در تایید نتایج حاضر تیمار گیاهان کاهو و بادمجان با سالیسیلیک اسید به ترتیب سبب افزایش ۷۶ و ۵۴ درصدی سطح برگ در شرایط تنش شوری شد (Sousa *et al.*, 2022; Kusvuran and Yilmaz, 2023).

شاخص کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار دما، سالیسیلیک اسید و همچنین اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید بر کلروفیل برگ بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش دما کلروفیل برگ کاهش یافت به گونه‌ای که دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش ۲۹/۳ درصدی کلروفیل برگ نسبت به شاهد شد. کاربرد سالیسیلیک اسید فقط در غلظت ۱ میلی‌مولار تأثیر معنی‌داری بر افزایش کلروفیل برگ داشت و تیمار ۵/۰ میلی‌مولار

تفاوت معنی داری با شاهد نداشت. اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد بیشترین میزان کلروفیل برگ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مربوط به غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود (جدول ۴). در توافق با این نتایج، در گوجه‌فرنگی (Jahan *et al.*, 2019) و خیار (Hongal *et al.*, 2023) دمای بالا سبب کاهش کلروفیل شد. همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهان گوجه‌فرنگی (Jahan *et al.*, 2019) تحت تنش گرمایی و در خیار (Yildirim *et al.*, 2008) در شرایط تنش شوری موجب افزایش کلروفیل شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات دانه‌های خیار تحت تنش دمایی
Table 3- The ANOVA results for the effect of different concentrations of salicylic acid on the properties of cucumber seedling under temperature stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares		
		سطح برگ Leaf area	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	نشت یونی Electrolyte leakage
دما temperature	3	4804.96**	28.94**	370.09**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	390.03**	4.60**	39.60**
دما × سالیسیلیک اسید Temperature × Salicylic acid	6	307.99**	1.37**	13.08**
خطا Error	24	45.50	0.31	3.03
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	0.75	4.55	7.31

ns, ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

نشت یونی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد دما، کاربرد سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان نشت یونی برگ داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد افزایش دما سبب افزایش معنی دار نشت یونی برگ‌ها شد، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش حدود ۱/۵ برابری نشت یونی برگ نسبت به تیمار شاهد شد. بین تیمار ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشت، اما تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب کاهش معنی دار نشت یونی برگ شد به طوری که این کاهش نسبت به شاهد حدود ۱۳ درصد بود. اثرات متقابل دما و کاربرد سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نشت یونی برگ را نسبت به شاهد حدوداً ۴۰ درصد کاهش داد (جدول ۴).

تنش گرمایی ممکن است سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن و آسیب سلولی شود، گونه‌های فعال اکسیژن با پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و افزایش سیالیت غشاء سبب افزایش نشت یونی می‌شوند (Khan *et al.*, 2003). طبق پژوهش‌های پیشین افزایش دما سبب افزایش نشت یونی در گوجه‌فرنگی (Jahan *et al.*, 2019) و فلفل (Taheri and Haghghi, 2018) شد. با این حال کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب کاهش میزان نشت یونی برگ شد، در همین راستا شی و همکاران (Shi *et al.*, 2006) نیز گزارش کردند که اسپری برگی دانه‌های خیار با غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب کاهش معنی دار نشت یونی و محافظت از گیاه در شرایط تنش گرمایی شد. در ارتباط با تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر میزان نشت یونی گزارش شده است که سالیسیلیک اسید با کاهش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن، از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی از تخریب غشا توسط این گونه‌ها و افزایش نشت یونی جلوگیری می‌کند (Prasad, 1997). کاربرد سالیسیلیک اسید در بادمجان (Sousa *et al.*, 2022)، خیار (Yildirim

(et al., 2008)، توت‌فرنگی (Karlidag et al., 2009) تحت تنش شوری، فلفل (Amirinejad et al., 2017)

تحت تنش شوری و قلیائیت و گوجه‌فرنگی (Jahan et al., 2019) تحت تنش گرما موجب کاهش نشت یونی شد.

جدول ۴- اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات دانه‌های خیار تحت تنش دمایی

Table 4- The effect of different concentrations of salicylic acid on the characteristics of cucumber seedling under temperature stress

سالیسیلیک اسید (میلی مولار) Salicylic acid (mM)	دما Temperature (°C)				میانگین Mean
	25	30	35	40	
سطح برگ Leaf area (mm ² plant ⁻¹)					
0	915.67 ^{AB}	917.67 ^A	872.67 ^F	850.67 ^G	889.17 ^B
0.5	909.67 ^{AB}	904.67 ^{BC}	889.67 ^{DF}	861.00 ^G	891.25 ^B
1	908.00 ^{AB}	916.33 ^A	894.00 ^{CD}	881.33 ^{EF}	899.92 ^A
میانگین Mean	911.11 ^A	912.89 ^A	885.44 ^B	864.33 ^C	
شاخص کلروفیل Chlorophyll index (spad value)					
0	13.43 ^{ab}	12.83 ^{bc}	12.30 ^{cd}	8.67 ^e	11.8 ^B
0.5	13.66 ^{ab}	13.00 ^{a-c}	12.47 ^c	8.73 ^e	11.97 ^B
1	13.80 ^a	13.60 ^{ab}	12.90 ^{a-c}	11.50 ^d	12.95 ^A
میانگین Mean	13.63 ^A	13.14 ^A	12.56 ^B	9.63 ^C	
نشت یونی برگ (درصد) Electrolyte leakage (%)					
0	20.06 ^{de}	20.43 ^{c-e}	23.06 ^c	46.47 ^a	25 ^A
0.5	20.00 ^{de}	20.43 ^{c-e}	22.73 ^{cd}	35.80 ^a	24.74 ^A
1	19.35 ^e	19.53 ^e	20.33 ^{c-e}	27.73 ^b	21.74 ^B
میانگین Mean	19.8 ^C	20.13 ^C	22.04 ^B	33.33 ^A	

ns, ** and *: non-significant, significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively.

پرولین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر دما و کاربرد سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نیز بر میزان پرولین برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان پرولین برگ مربوط به دمای ۳۵ درجه سانتی-گراد بود که سبب افزایش ۳۸ درصدی میزان پرولین نسبت به شاهد شد. بین تیمار ۰/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما کاربرد ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری بر افزایش پرولین داشت به طوری که سبب افزایش ۳۷/۷ درصدی آن نسبت به شاهد شد. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید در تمام تیمارهای دمایی سبب افزایش پرولین شد (جدول ۶).

در فلفل (Taheri and Haghghi, 2018) و گوجه‌فرنگی (Jahan et al., 2019) با افزایش دما میزان پرولین برگ افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر همسو بود. پرولین یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌باشد که در هنگام تنش به علت تخریب پروتئین سینتتاز و عدم تبدیل پرولین به پروتئین تجمع می‌یابد.

پرویلین ساختارهای پروتئینی و غشا سلولی را در برابر آثار مخرب یون‌های غیر آلی و تنش‌های دمایی حفظ می‌کند و گفته می‌شود به عنوان تجزیه کننده‌ی رادیکال هیدروکسیل عمل می‌نماید (Smirnoff *et al.*, 2001). همچنین با توجه به نتایج پژوهش حاضر کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید سبب افزایش پرویلین شد در تأیید نتایج پژوهش حاضر کاربرد سالیسیلیک اسید در گوجه‌فرنگی (Jahan *et al.*, 2019) و لفل (Preet *et al.*, 2023) تحت تنش گرما و توت‌فرنگی (Samadi *et al.*, 2019) تحت تنش شوری سبب افزایش میزان پرویلین شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات دانه‌های خیار تحت تنش دمایی
Table 5- The ANOVA results for the effect of different concentrations of salicylic acid on the properties of cucumber seedling under temperature stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares		
		پرویلین Proline	پلی فنل اکسیداز PPO	سوپراکسید دیسموتاز SOD
دما temperature	3	0.86**	0.026*	25.77**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	2	2.27**	0.132**	18.55**
دما × سالیسیلیک اسید Temperature × Salicylic acid	6	0.10*	0.027**	7.62**
خطا Error	24	0.04	0.006	0.27
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	8.45	16.88	8.53

ns, ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

پلی فنل اکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر دما بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. تأثیر کاربرد سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نیز بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید تأثیر مثبتی بر افزایش میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز داشت به نحویکه بالاترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار بود که سبب افزایش حدود ۱/۵ برابری آن نسبت به شاهد شد. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید نشان داد کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش حدود ۲/۵ برابری فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز نسبت به شاهد شد (جدول ۶). طبق پژوهش‌های پیشین نیز در گوجه‌فرنگی دما بالا (۳۵ درجه سانتی‌گراد) سبب کاهش ۷۳ درصدی فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز نسبت به تیمار شاهد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) شد (Rivero, *et al.*, 2001). کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف سبب افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز شد، نتایج این پژوهش با گزارشات طاهر و امی (Taher and Ami, 2022) همخوانی دارد که افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز را در خیار تیمار شده با سالیسیلیک اسید گزارش کردند.

سوپراکسید دیسموتاز: نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی دار دما، سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش غلظت کلرید سدیم فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت که بیشترین فعالیت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد که نسبت به شاهد افزایش حدود ۲ برابری را نشان داد، همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید در تمامی غلظت‌ها سبب افزایش معنی دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. اثرات متقابل دما و سالیسیلیک اسید

نشان داد کاربرد ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد سبب افزایش حدود ۱/۵ برابری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به شاهد شد (جدول ۶).

دما بالا باعث تولید رادیکال های آزاد اکسیژن می شود درحالیکه آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، رادیکال های آزاد سوپراکسید (O₂) را به پراکسید هیدروژن (H₂O₂) و اکسیژن تبدیل می کنند، سپس پراکسید هیدروژن توسط کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و پراکسیداز (POX) تجزیه و به آب و اکسیژن تبدیل می شود (Preet et al., 2023). طبق گزارشات هنگال و همکاران (Hongal et al., 2023) در خیار تجمع مواد بیوشیمیایی مانند پروتئین، پروتئین و آنتی اکسیدان هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز مکانیسم های بیوشیمیایی اصلی برای تحمل دمای بالا هستند، که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد. کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گاهو در شرایط تنش شوری شد که این افزایش برای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ۲۸ درصد بود (Kusvuran and Yilmaz, 2023). در فلفل دلمه ای کاربرد سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی-اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، و اسکوربات پراکسیداز سبب کاهش خسارت ناشی از دمای بالا شد که با نتایج پژوهش فوق همسو است (Preet et al., 2023).

جدول ۶- اثر غلظت های مختلف سالیسیلیک اسید بر خصوصیات دانه های خیار تحت تنش دمایی

Table 6- The effect of different concentrations of salicylic acid on the characteristics of cucumber seedling under temperature stress

سالیسیلیک اسید (میلی مولار) Salicylic acid (mM)	دما Temperature (°C)				میانگین Mean
	25	30	35	40	
پروکلین (مایکرومول بر گرم وزن تر برگ)					
0	1.60 ^h	2.26 ^{ef}	2.46 ^{b-e}	2.03 ^{fg}	2.09 ^B
0.5	1.80 ^{gh}	2.23 ^{ef}	2.36 ^{c-f}	2.30 ^{d-f}	2.17 ^B
1	2.63 ^{b-d}	2.70 ^{bc}	3.47 ^a	2.73 ^b	2.88 ^A
میانگین Mean	2.01 ^C	2.40 ^B	2.77 ^A	2.35 ^B	
پلی فنل اکسیداز PPO (u/gfw)					
0	0.53 ^{bc}	0.39 ^{def}	0.33 ^{ef}	0.27 ^f	0.38 ^C
0.5	0.56 ^{bc}	0.43 ^{cde}	0.53 ^{bc}	0.45 ^{cde}	0.49 ^B
1	0.54 ^{bc}	0.47 ^{cd}	0.70 ^a	0.64 ^{ab}	0.59 ^A
میانگین Mean	0.54 ^A	0.43 ^C	0.52 ^{AB}	0.45 ^{BC}	
سوپراکسید دیسموتاز SOD (u/gfw)					
0	3.65 ^f	4.23 ^f	5.33 ^{de}	7.39 ^b	5.15 ^C
0.5	3.41 ^f	5.43 ^{de}	7.74 ^b	6.20 ^{cd}	5.69 ^B
1	7.03 ^{bc}	5.20 ^e	6.34 ^c	11.53 ^a	7.52 ^A
میانگین Mean	4.70 ^C	4.95 ^C	6.47 ^B	8.37 ^A	

نتیجه‌گیری کلی

دماهای بالا سبب اختلال در رشد و عملکرد خیار شده همانطور که نتایج این آزمایش نشان داد دمای بالا سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، کاهش کلروفیل، سطح برگ و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز شد درحالی که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب کاهش نشت یونی، افزایش میزان پرولین، پلی فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. بطور کلی بهترین نتایج مربوط به کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود که با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی سبب کاهش اثرات منفی تنش گرمایی بر خیار رقم رشید و بهبود رشد آن شد.

References

1. Amirinejad, A.A., Sayyari, M., Ghanbari, F. & kordi, S. (2017). Salicylic acid improves salinity alkalinity tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Advances in Horticultural Science* 31: 157-163. <https://doi.org/10.13128/ahs-21954>
2. Baninasab, B. & Ghobadi, C. (2011). Influence of Paclobutrazol and Application Methods on High-temperature Stress Injury in Cucumber Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation* 30 (2): 213-219. <https://doi.org/10.1007/s00344-010-9188-2>
3. Bates, L., Waldren, R. & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
4. Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H. & Salahvarzi, Y. (2011). Effects of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of cucumber seedling (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) under drought stress. *Journal of Plant Production* 18: 63-76. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/20.1001.1.23222050.1390.18.3.5.8>
5. Bingwei, Y., Shuangshuang, Y., Huoyan, Z., Riyue, D., Jianjun, L., Changming, C. & Bihao, C. (2018). Overexpression of CsCaM3 Improves High Temperature Tolerance in Cucumber. *Frontiers in plant science* 9: 797. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00797>
6. Chen, S., Zhao, C.B., Ren, R.M., & Jiang, J.H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science* 16: 443- 457. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141918>
7. Ding, X., Jiang, Y., Hao, T., Jin, H., Zhang, H., He, L., Zhou, Q., Huang, D., Hui, D. & Yu, J. (2016). Effects of heat shock on photosynthetic properties, antioxidant enzyme activity, and downy mildew of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *PLoS One* 11: 4 e0152429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152429>
8. Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1997). Superoxid dismutase. I. occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
9. Hasanuzzaman, M.K., Nahar, M. Alam, R. Roychowdhury & Fujita, M. (2013). Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat stress tolerance in plant. *International Journal of Molecular Sciences* 14 (5): 9643-9684. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms14059643>
10. Hongal, D., Raju, D., Kumar, S., Talukdar, A., Das, A., Kumari, K., Dash, P.K., Behera, T.K., Munshi, A.D. & Dey, S.S. (2023). Elucidating the role of key physio-biochemical traits and molecular network conferring heat stress tolerance in cucumber. *Frontiers in Plant Science* 20: 498-512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1128928>
11. Jahan, M.S., Wang, Y., Shu, Sh., Zhong, M., Chen, Z., Wu, J., Sun, J. & Guo, Sh. (2019). Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system

- through scavenging of reactive oxygen species. *Scientia Horticulturae* 247: 421-429. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.047>
12. Karlidag, H., Yildirim, E. & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola* 66: 180-187. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000200006>
 13. Khan, W., Prithiviraj, B. & Smith, D.L. (2003). Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865>
 14. Kusvuran, S., & Yilmaz, U.D. (2023). Ameliorative role of salicylic acid in the growth, nutrient content, and antioxidative responses of salt-stressed lettuce. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 22: 75-85. <https://orcid.org/0000-0002-1270-6962>
 15. Lutts, S., Kinet, J.M. & Bouharmon, J. (1996). NaCl-induced senescence in leave of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
 16. Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences* 25: 252-259. [http://www.idosi.org/wjas/wjas6\(3\)/4](http://www.idosi.org/wjas/wjas6(3)/4)
 17. Prasad, T.K. (1997). Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergance maize seedlings. *Plant Physiology* 114: 1369-1376. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
 18. Preet, T., Ghai, N., Jindal, S.K., & SANGHA, M. (2023). Salicylic Acid and 24-Epibrassinolide Induced Thermotolerance in Bell Pepper through Enhanced Antioxidant Enzyme System and Heat Shock Proteins. *Journal of Agricultural Science and Technology* 25: 171-183. <http://dx.doi.org/10.52547/jast.25.1.171>
 19. Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Garcia, P.C., Lopez-Lefebre, L.R., Sánchez, E., & Romero, L. (2001). Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant science* 160: 315-321. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00395-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00395-2)
 20. Samadi, S., Habibi, G. & Vaziri, A. (2019). Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative responses, phenolic metabolism and photochemical activity of strawberry under salt stress. *Iranian Journal of Plant Physiology* 9 (2): 2685-2694. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2019.545950>
 21. Shakirova, F.M., Shakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. & Fatkhutdinova, D.R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seeding induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sciences* 164: 317-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6)
 22. Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q. & Qian, Q. (2006). Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation* 48: 127-135. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-5482-6>
 23. Smirnoff, N., Conklin, P.L. & Loewus, F.A. (2001). Biosynthesis of ascorbic acid in plants: a renaissance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 437-467. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.437>
 24. Soliva, R.C., Elez, P., Sebastián, M., & Martín, O. (2001). Evaluation of browning effect on avocado purée preserved by combined methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 1: 261-268. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00033-3)
 25. Sousa, V.F.O., Santos, A.S., Sales, W.S., Silva, A.J., Gomes, F.A.L., Dias, T.J., Gonçalves-Neto, A.C., Faraz, A., Santos, J.P.O., Santos, G.L. & Cruz, J.M.F.L. (2022).

- Exogenous application of salicylic acid induces salinity tolerance in eggplant seedlings. *Brazilian Journal of Biology* 24: 84-105 <https://doi.org/10.1590/1519-6984.257739>
26. Taher, I.E., & Ami, S.N. (2022). Inducing systemic acquired resistance (SAR) against root-knot nematode *Meloidogyne javanica* and evaluation of biochemical changes in cucumber root. *Helminthologia* 59 (4): 404-413. <https://doi.org/10.2478/helm-2022-0042>
27. Taheri, M. & Haghghi, 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: 89-98. <https://doi.org/10.22099/iar.2018.4890>
28. Yildirim, E., Turan, M. & Guvenc, I. (2008). Effect of Foliar Salicylic Acid Applications on Growth, Chlorophyll, and Mineral Content of Cucumber Grown Under Salt Stress, *Journal of plant nutrition* 31 (3): 593-612. <http://dx.doi.org/10.1080/01904160801895118>
29. Yordanova, R. & Popova, L. (2007). Effect of exogenous treat with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants. *Plant physiology* 33: 155-170. http://obzor.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-33/07_3-4_155-170

مجله دانش کشاورزی