

Improving some Morphophysiological Characteristics and Grain Yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under Cold Stress with salicylic acid treatment in Greenhouse Conditions

Roghiyeh Farzi-Aminabad^{1*} , Safar Nasrollahzadeh²

Received: 17 March 2024

Accepted: 09 January 2025

1- PhD Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

Abstract

Background & Objectives: Low temperatures is one of the factors limiting the growth and production of plants. To mitigate the destructive effects of cold stress, the use of salicylic acid can be beneficial.

Materials & Methods: Factorial experiment was designed and conducted in a randomized complete block design with three replications in the research greenhouse of the Molecular Breeding Center at Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Cold stress was applied at temperature degrees of 25, 8, and 4°C during the rosette stage, followed by salicylic acid spraying with concentrations of 1 and 2 mM, and water spraying a week before the cold stress application. Physiological traits were assessed after cold stress, while morphological traits were evaluated during the flowering stage.

Results: The interaction of cold stress and salicylic acid significantly influenced plant height and number of leaves. Chlorophyll content index, number of branches and flowers, fresh weight of flowers, fresh and dry weight of the plant were affected by both cold stress and salicylic acid spraying. The dry weight of inflorescences was altered solely due to cold stress, while the seed yield of purple coneflower was affected by salicylic acid application. Chlorophyll index was measured one week after applying cold stress in the rosette stage and morphological traits in the flowering stage.

Conclusion: One effective method to alleviate the impact of chilling stress is the use of salicylic acid. Spraying salicylic acid, particularly at a 2 mM, enhanced the morphological, physiological, and grain yield characteristics of purple coneflower under cold stress.

Keywords: Cold Stress, Purple Coneflower, Salicylic Acid, Foliar Spray, Grain Yield



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

Copyright© 2025 Roghiyeh Farzi-Aminabad Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2025.60940.3198>



بهبود برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد دانه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در تنش سرما با تیمار اسید سالیسیلیک در شرایط گلخانه‌ای

رقیه فرضی امین آباد^{۱*}، صفر نصراله زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰
--------------------------	-------------------------

۱- دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استاد گروه اکوفیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* مسئول مکاتبات: Email: roghiyehfarzi374@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: دماهای پایین یکی از عوامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان مختلف می‌باشد. برای تعدیل اثرات مخرب تنش سرما استفاده از تنظیم کننده‌های رشدی مانند اسید سالیسیلیک می‌تواند مفید باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی قطب اصلاح مولکولی غلات دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز طراحی و اجرا گردید. تنش سرما با درجه‌های دمایی (شاهد) ۲۵، ۸ و ۴ درجه سانتی‌گراد در مرحله روزت و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۱ و ۲ میلی مولار و آب‌پاشی (شاهد) یک هفته قبل از اعمال تنش سرما انجام گردید. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل یک هفته بعد از اعمال تنش سرما و در مرحله روزت و صفات مورفولوژیکی در مرحله گلدهی انجام شد.

یافته‌ها: اثر متقابل تنش سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته و تعداد برگ سرخارگل معنی‌دار بود. شاخص کلروفیل برگ، تعداد شاخه فرعی و تعداد گل‌آذین، وزن تر گل‌آذین، وزن تر و خشک بوته تحت تأثیر تنش سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک قرار گرفتند. وزن خشک گل‌آذین فقط بر اثر تنش سرما تغییر یافت و عملکرد دانه سرخارگل از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک متأثر شد. شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت.

نتیجه‌گیری: یکی از راه‌های کاهش اثرات سرمازدگی گیاهان کاربرد تنظیم کننده‌های رشدی از جمله اسید سالیسیلیک می‌باشد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به خصوص به مقدار ۲ میلی مولار موجب بهبود صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد دانه سرخارگل در تنش سرما شد.

واژه‌های کلیدی: تنش سرما، سرخارگل، اسید سالیسیلیک، محلول‌پاشی، عملکرد دانه

مقدمه

مواد مؤثره موجود در بخش‌های مختلف این گیاه برای تسکین دندان درد، گلو درد، سرفه، زخم‌های عفونی، مارگزیدگی و تعداد زیادی از بیماری‌های دیگر کاربرد دارد (آقا علیخانی ۲۰۱۲). سرخارگل خاصیت ضد آرتروزی دارد و به عنوان دارویی بالقوه برای درمان

سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) گیاهی دارای خاصیت دارویی، چند ساله و بومی دشت‌های ایالات متحده آمریکا است. فرم‌های رویشی وحشی این گیاه در نقاط پراکنده‌ای از جنوب کانادا یافت می‌شود.

(کلسینگ و همکاران ۲۰۱۸). اسید سالیسیلیک برای تنظیم سیستم دفاعی گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش حیاتی ایفا می‌کند. همچنین در رشد و نمو گیاهان، جذب و انتقال مواد معدنی، فتوسنتز، گلدهی و تعرق نقش دارد (اولاه و همکاران ۲۰۱۹). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند موجب فعال شدن سیستم آنتی اکسیدانی و افزایش مقاومت به تنش سرما شود (جاندا و همکاران ۲۰۰۳). این تنظیم کننده رشد اثرات مهمی بر جذب عناصر غذایی، پایداری غشا، عملکرد روزنه‌ای، کاهش تولید اتیلن و بهبود رشد گیاه دارد (قاسمی گل‌عزانی و همکاران ۲۰۱۵). اسید سالیسیلیک بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی که در سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی نقش دارند را تنظیم می‌کند. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش سطح برگ و دریافت نور بیشتر و در نتیجه، افزایش فتوسنتز و محصول دانه زنیان می‌گردد (قاسمی گل‌عزانی و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین، این تحقیق جهت بررسی واکنش گیاه سرخارگل در دماهای پایین تحت تیمار اسید سالیسیلیک طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی قطب اصلاح مولکولی غلات دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز طراحی و اجرا گردید. متوسط دما، شدت نور و میانگین رطوبت نسبی گلخانه به ترتیب ۲۴-۲۸ درجه سانتی‌گراد، ۷۸۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و ۳۶-۴۰ درصد بود. همچنین ساعت روشن ۱۸ ساعت و تاریکی ۶ ساعت بود. بعد از انجام آزمایش‌های لازم برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (جدول ۱) خاک، عملیات کاشت آغاز گردید. برای این منظور گلدان‌هایی با ارتفاع و قطر دهانه ۲۵ سانتی متر استفاده شدند. بذرها در عمق ۱ سانتی متری خاک کشت شدند و در نهایت ۶ بوته برای هر تیمار جهت اندازه‌گیری صفات مختلف در هر واحد آزمایشی (یک بوته در هر گلدان) نگه داشته شدند. میانگین دما در طول دوره آزمایش ۲۳ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد بود.

آرتروز و روماتوئید مطرح می‌باشد (جیانگ و همکاران ۲۰۱۴). سرخارگل حاوی انواع اسیدهای فنولیک، مانند اسید کلروژنیک و اسید شیکوریک می‌باشد، که دارای فعالیت‌های تعدیل کننده ایمنی، ضد التهابی، ضد ویروسی و ضد توموری هستند (چنگ و همکاران ۲۰۲۰). مطالعات فارماکولوژیک نشان داده است که اسیدهای فنولیک دارای اثرات آنتی اکسیدانی، مهار کننده رادیکال‌های آزاد، ضد باکتری، ضد ویروسی، ضد التهابی، تقویت کننده سیستم ایمنی، کاهش قند خون، محافظت از کبد، کاهش دهنده اسید اوریک و ضد تصلب شرایین^۱ هستند (زانگ و همکاران ۲۰۲۰). محصولات دارویی به دست آمده از این گیاه به طور گسترده به عنوان مکمل‌هایی برای درمان و پیشگیری از بیماری‌هایی مانند آنفولانزا مورد مصرف قرار می‌گیرند (کائو و کیندزچدر ۲۰۱۶). گیاهان دامنه‌های دمایی مشخصی برای رشد و نمو بهینه دارند و در خارج از آن محدوده دمایی تولید و پراکنش آن‌ها محدود می‌شود. بنابراین، سرما می‌تواند به عنوان یک عامل محیطی تنش‌زا سرعت فرآیندهای بیوشیمیایی سلول‌ها را به طور متفاوتی تحت تأثیر قرار دهد (پارسیل و همکاران ۲۰۰۷). مقاومت گیاهان در دماهای پایین، به ظرفیت و توانایی آن‌ها به خوگیری سرما، مرحله نمو، نوع اندام، کمینه یا بیشینه دمای دریافت کرده و طول دوره آن دما بستگی دارد (جانسکا و همکاران ۲۰۱۰). سرما باعث افت فعالیت‌های آنزیمی، افزایش نشت الکترولیت‌های غشا، ناپایداری کمپلکس‌های پروتئینی، کاهش سیالیت غشا، تجمع گونه‌های اکسیژن فعال و اختلال در فتوسنتز می‌شود و به این دلایل به عنوان تنش شناخته می‌شود (نصیبی و همکاران ۲۰۲۰). سرمازدگی موجب تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان می‌شود (جویبان و همکاران ۲۰۱۳). اسید سالیسیلیک تنظیم کننده رشد فنلی^۲ است که به طور طبیعی در گیاهان وجود دارد و به عنوان یک ماده سیگنال دهنده درون‌زا در نظر گرفته می‌شود

¹ Atherosclerosis

² phenolic

بذرهای مورد نظر از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید و رقم مورد استفاده رقم *purpurea* می باشد. رقم *purpurea* مقاومت کمتری به خشکی و شوری نسبت به سایر رقم ها دارد. مقاومت به سرما و تنش یخ زدگی را تا دمای ۷- درجه سانتی گراد دارد. بلافاصله بعد از کاشت، گلدان ها با آب شهری آبیاری شدند. آبیاری های بعدی تا زمان سبز شدن بذر ها هر روز و

پس از سبز شدن با توجه به ظرفیت زراعی انجام گردید. اعمال تنش سرما در مرحله روزت (۶-۸ برگی) و با درجه های دمایی (۲۵) (شاهد)، ۸ و ۴ سانتی گراد انجام گردید. اسید سالیسیلیک در سه مرحله با فاصله یک هفته از هم و قبل از اعمال تنش سرما، به صورت محلول پاشی برگی و با غلظت های (۱ و ۲ میلی مولار و شاهد (آب پاشی)) انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک آزمایش

pH	EC (ds/m)	TNV (%)	OC (%)	TN (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
۷/۶۱	۰/۶۷	۲۴	۰/۲۹	۰/۰۳	۷/۴۹	۲۲۶/۸	۵۵	۳۰	۱۵	شنی لومی

اندازه گیری ها

صفات مورفولوژیکی

در مرحله گلدهی ارتفاع هر بوته با استفاده از سانتی متر اندازه گیری و میانگین ارتفاع شش بوته به عنوان ارتفاع بوته برای هر گلدان در نظر گرفته شد. برای اندازه گیری قطر ساقه از کولیس دیجیتال استفاده شد. قطر ساقه اصلی برای هر بوته در سه نقطه اندازه گیری شد و میانگین این سه عدد به عنوان قطر ساقه برای هر بوته در نظر گرفته شد. برگ های توسعه یافته در مرحله گلدهی (مرحله اصلی ۴ بر اساس مقیاس BBCH و کد ۶) برای هر بوته شمارش گردید و میانگین وزن برگ ها به عنوان تعداد برگ برای هر گلدان ثبت گردید.

صفات فیزیولوژیکی

شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (CCM-200) اندازه گیری شد. برای این منظور یک هفته بعد از اعمال تنش سرما، از هر گلدان ۲ بوته انتخاب و از برگ های بالایی، میانی و پایینی (از سه قسمت ابتدا، وسط و انتهای هر برگ) هر بوته شاخص کلروفیل ارزیابی گردید. سپس میانگین این اعداد به عنوان معیاری از شاخص کلروفیل برگ سرخارگل در نظر گرفته شد.

در مرحله گلدهی از هر گلدان یک بوته برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. برگ ها از ساقه

جداسازی شد و سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Area Meter Model LI-3100) اندازه گیری گردید.

زیست توده و عملکرد دانه

بعد از رسیدگی کامل ۳ بوته از هر گلدان برداشت شد و برای اندازه گیری صفات مختلف به آزمایشگاه منتقل گردید. تعداد شاخه های فرعی و تعداد گل آذین هر بوته شمارش گردید. گل آذین ها از بوته اصلی جدا شدند سپس با ترازو توزین شدند. برای اندازه گیری وزن تر بوته، کل بوته بعد از کف برداشتن با ترازو توزین گردیدند. بعد از جدا کردن دانه ها، بخش های رویشی در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین گردیدند و به عنوان زیست توده (وزن خشک) هر بوته در نظر گرفته شدند. پس از رسیدگی کامل دانه ها از گل آذین جدا شدند و محصول دانه هر بوته توزین گردید.

تجزیه و تحلیل داده ها

نرم افزار MSTATC برای محاسبه های آماری داده های آزمایش و نرم افزار EXCEL برای رسم نمودارها و شکل ها استفاده شد. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

متقابل تنش سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک روی ارتفاع بوته و تعداد برگ معنی‌دار بود و قطر ساقه تحت تأثیر هیچ یک از تیمارها قرار نگرفت.

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، اثر محلول-پاشی اسید سالیسیلیک روی تعداد شاخه فرعی سرخارگل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر

جدول ۲- تجزیه واریانس سرما و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیکی سرخارگل

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ	قطر ساقه	شاخه فرعی
تکرار	۲	۲۱/۲۷	۴۸/۸۵	۱/۷۵	۰/۱۱
سرما (C)	۲	۲۷۴/۵۶**	۸۷/۶۴ ^{NS}	۱/۵۱ ^{NS}	۰/۸ ^{NS}
اسید سالیسیلیک (SA)	۲	۵۴۴/۷۴**	۴۷۱/۱۱**	۰/۲۸ ^{NS}	۳/۸۷**
C × SA	۴	۱۷۲/۵۳**	۷۸/۳۱*	۱/۲۵ ^{NS}	۰/۱۶ ^{NS}
خطا	۱۶	۳۰/۲۶	۲۵/۲۶	۸/۶۳	۰/۳۹
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۹۸	۲۳/۰۳	۱۶/۲۹	۳۲/۳۰

*, **, و NS: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار است.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته سرخارگل با دریافت سرما به ویژه دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به میزان ۶۵/۷۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. احتمالاً گیاهان برای انطباق با شرایط سرما، برای رفع نیازهای رشدی خود از قبیل نور، ارتفاع خود را افزایش می‌دهند تا علیرغم کم بودن دما، بتوانند از سایر منابع برای جبران افت رشد خود استفاده کنند (فرضی امین آباد و نصراله زاده ۲۰۲۴). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش ارتفاع بوته گردید. به ویژه محلول‌پاشی به مقدار یک میلی مولار باعث افزایش طول میانگره‌ها و ارتفاع بوته سرخارگل گردید که از لحاظ آماری در دماهای مختلف تفاوت معنی‌داری با دو میلی مولار وجود نداشت. ارتفاع بوته با افزایش دریافت سرما بیشتر شد ولی از لحاظ آماری با دمای مطلوب رشد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). سپهری و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و به ویژه کلروفیل و همچنین تقسیمات سلولی در گیاه لوبیا افزایش می‌یابد و سبب افزایش ارتفاع بوته در لوبیا می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین محلول‌پاشی ارقام مختلف عدس

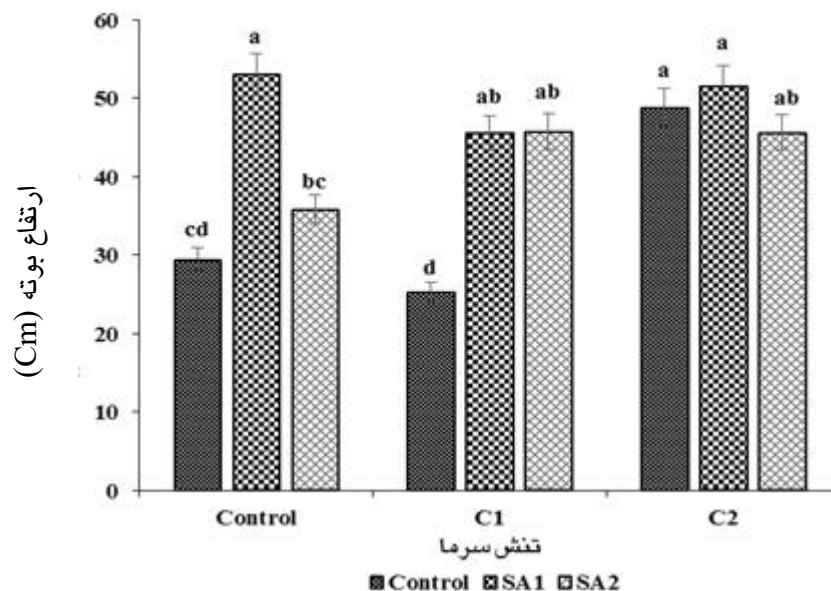
با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش، سبب افزایش ارتفاع بوته‌ها نسبت به تیمار شاهد گردید (کایدنظامی و همکاران ۲۰۱۲). اسید سالیسیلیک با افزایش تقسیم‌های سلولی در میانگره‌ها موجب افزایش ارتفاع بوته در ریحان و مرزنجوش گردیده است (قریب، ۲۰۰۷).

تعداد برگ

بالاترین تعداد برگ در بوته از محلول‌پاشی دو میلی مولار اسید سالیسیلیک در گیاهان رشد یافته در دمای مطلوب (۲۵ درجه سانتی‌گراد) حاصل شد. تنش سرما موجب کاهش تعداد برگ در بوته گردید ولی تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین دماهای مختلف وجود نداشت. همچنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث تشکیل برگ‌های جدید در سرخارگل شد و از نظر غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی در دماهای ۸ (۶۸/۶۱ درصد) و ۴ (۷۳/۷۱ درصد) درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). تعداد برگ در بوته می‌تواند تابعی از ارتفاع بوته سرخارگل تحت تیمارهای متفاوت اسید سالیسیلیک در دماهای مختلف باشد چون با افزایش ارتفاع بوته، تعداد و طول میانگره‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه موجب افزایش تعداد برگ در بوته می‌گردد (شکل ۱). با افزایش ارتفاع بوته طول میانگره‌ها

طویل شدن سلولی باعث افزایش تشکیل برگ در گیاهان بنفشه آفریقایی و گلوکسینیا، تعداد برگ را افزایش داده است (حیات و احمد ۲۰۰۷).

و تعداد میانگره‌ها افزایش می‌یابد و زمینه را برای تشکیل برگ‌های جدید فراهم می‌آورد. گزارش شده است که استفاده از اسید سالیسیلیک از طریق تقسیم و



شکل ۱: ارتفاع بوته سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

Control: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، C₁: ۸ درجه سانتی‌گراد، C₂: ۴ درجه سانتی‌گراد

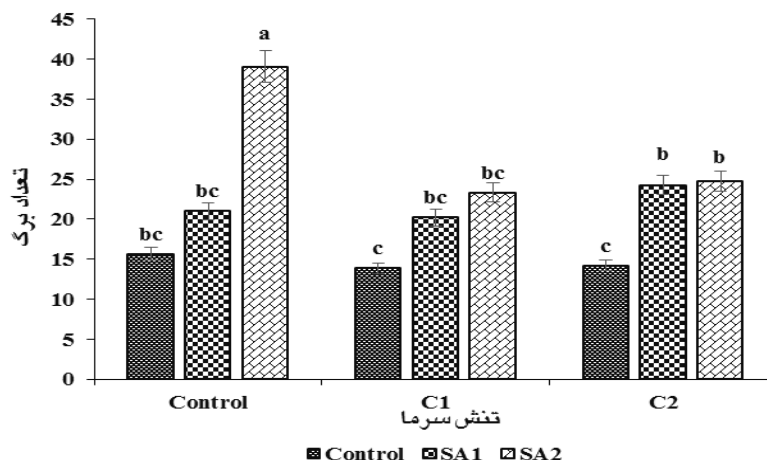
Control: آب‌پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

شود (چن و همکاران ۲۰۱۶). استون و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک با محافظت از دستگاه فتوسنتزی، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت یونی، افزایش پیوستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه شده که در نهایت منجر به عملکرد بیشتر می‌شود. اسید سالیسیلیک در برخی از گونه‌های گیاهی با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه از غشای سلولی تیلاکوئیدها در برابر پراکسیداسیون لیپیدها محافظت می‌کند و در نتیجه آسیب وارد شده به رنگدانه‌ها را کاهش می‌دهد (ما و همکاران ۲۰۱۷).

شاخص کلروفیل برگ

شاخص کلروفیل برگ سرخارگل تحت تأثیر تنش سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک قرار گرفت. شاخص کلروفیل در دمای مطلوب (۲۵ درجه سانتی‌گراد) و تنش سرما با هم مشابه بود و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت (شکل ۳ الف). از نظر آماری غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری با همدیگر نداشتند (شکل ۳ ب). تنش سرما، موجب افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تخریب پروتئین‌های غشا یا تغییر شکل آن‌ها می‌شود، همچنین باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند که در نهایت موجب افت کارایی فتوسنتزی گیاه شده و در نهایت عملکرد گیاه کم می‌شود (فرضی امین آباد و نصراله زاده ۲۰۲۴). اسید سالیسیلیک سبب جلوگیری از تخریب کلروفیل و موجب محافظت از دستگاه فتوسنتزی و تداوم فتوسنتز می‌-



شکل ۲: تعداد برگ در بوته سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

Control: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، C₁: ۸ درجه سانتی‌گراد، C₂: ۴ درجه سانتی‌گراد

Control: آب‌پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار
حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۳: تجزیه واریانس سرما و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیکی سرخارگل

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص کلروفیل	شاخص سطح برگ
تکرار	۲	۲۹/۶۹	۰/۰۶
سرما (C)	۲	۱۱۸/۲۹*	۰/۰۲ ns
اسید سالیسیلیک (SA)	۲	۱۷۲/۸۳**	۰/۰۰ ns
SA × C	۴	۵/۹۹ ns	۰/۰۱ ns
خطا	۱۶	۱۹/۵۹	۰/۰۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۴/۳۳	۱۳/۰۴

*, **, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار است.

تعداد گل‌آذین و شاخه فرعی

بالاترین تعداد گل‌آذین (شکل ۴ الف) و شاخه فرعی (شکل ۴ ب) از محلول‌پاشی دو میلی مولار اسید سالیسیلیک حاصل شد و از لحاظ آماری با محلول‌پاشی یک میلی مولار مشابه بود. تعداد گل‌آذین در واقع تابعی از تعداد شاخه فرعی است. کاربرد اسید سالیسیلیک موجب تحریک رشد رویشی و افزایش رشد شاخه‌های جانبی و تشکیل گل‌آذین می‌گردد که در نهایت باعث افزایش وزن بوته و عملکرد دانه خواهد شد. گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک در بنفشه آفریقایی^۳ (*Streptocarpus ionanthus*) موجب

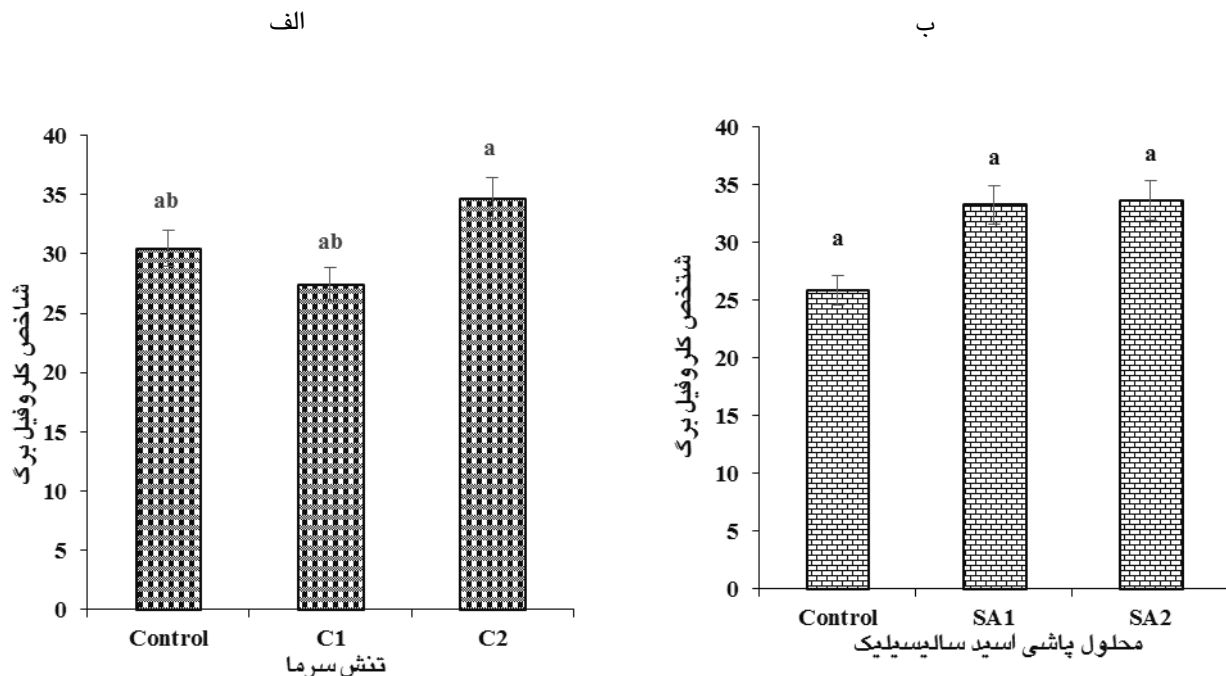
افزایش تعداد گل در بوته گردیده است (جبارزاده و همکاران ۲۰۰۹).

اثر تحریک‌کنندگی گلهی را از اثرات غیرمستقیم اسید سالیسیلیک می‌باشد و این ترکیب از طریق تغییر سنتز و یا مسیرهای سیگنال سایر هورمون‌های گیاهی از جمله جاسمونیک اسید، اتیلن و اکسین باعث افزایش گلهی می‌گردد (ولوت و همکاران ۲۰۰۹). علاوه بر این، کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک، می‌تواند باعث افزایش میزان اسید جیبرلیک درونزا و متابولیسم آن شده و در نتیجه از طریق تغییر وضعیت هورمونی گیاه، رشد و نمو گیاه را تنظیم کند. افزایش مقدار اسید سالیسیلیک درونزا در پاسخ به کاربرد خارجی آن، همبستگی مثبتی با رشد و گلهی گیاه دارد (کیم و همکاران ۲۰۰۹). و بهبود گلهی را می‌تواند به علت نقش اسید سالیسیلیک

³ *Streptocarpus ionanthus*

به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد درونزا که نقش مهمی در افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان دارد در نظر گرفت (محمدی و همکاران ۲۰۱۵). اسید سالیسیلیک از طریق افزایش

سطوح مختلف اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر تعداد گل در بوته داشت (مرادی و گلدانی ۲۰۱۰).



شکل ۳- شاخص کلروفیل برگ سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما (الف) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (ب)

Control: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، C₁: ۸ درجه سانتی‌گراد، C₂: ۴ درجه سانتی‌گراد

Control: آب‌پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

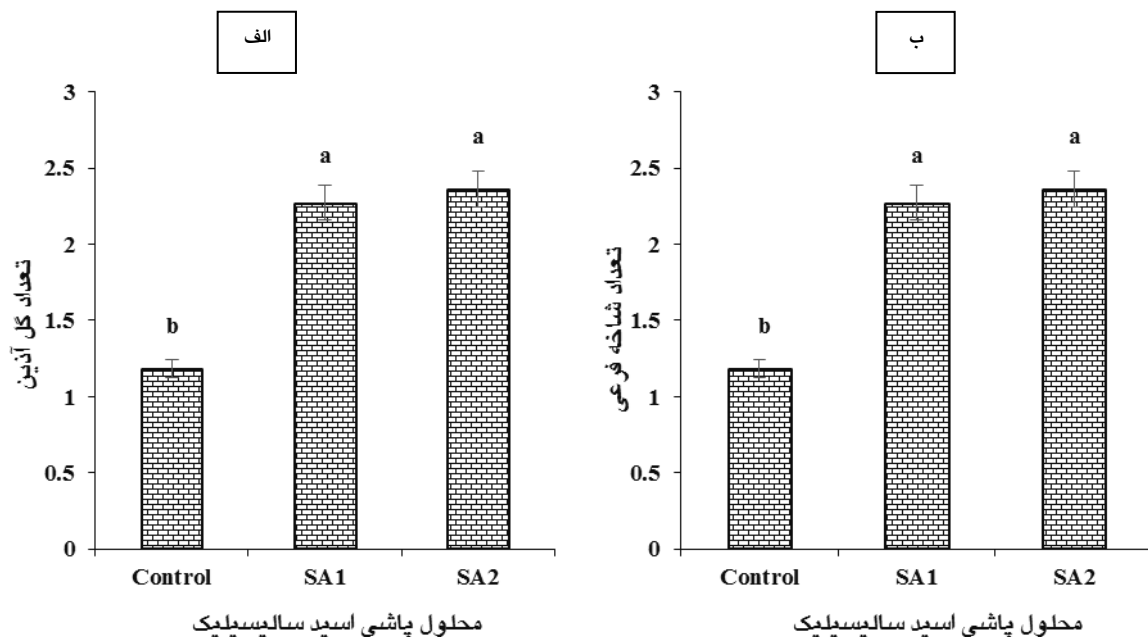
تنش سرما روی وزن تر گل‌آذین، وزن خشک گل‌آذین و وزن خشک کل بوته اثر معنی‌داری داشت و وزن تر گل‌آذین، وزن تر و خشک کل بوته تحت تأثیر محلول-پاشی اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۴).

سنتز پروتئین و ظهور باندهای ایزوزیم جدید موجب القا و افزایش تعداد جوانه گل می‌شود. گزارش شده است که سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در تعدادی از شاخص‌های رشد گیاه همیشه بهار نشان داد که

جدول ۴- تجزیه واریانس سرما و اسید سالیسیلیک بر عملکرد گل‌آذین و وزن بوته سرخارگل

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر گل‌آذین	وزن خشک گل‌آذین	وزن تر کل بوته	وزن خشک کل بوته	محصول دانه
تکرار	۲	۰/۷۷	۰/۲	۵۸/۲	۴/۹۳	۰/۲۳۸
سرما (C)	۲	۹/۷**	۲/۸**	۱۷۴/۷۱*	۲۴/۳۹**	۰/۳۶۶
اسید سالیسیلیک (SA)	۲	۳/۳۲*	۰/۲۱	۴۹۰/۸۵**	۳۶/۷۶**	۰/۰۱۱*
SA × C	۴	۰/۷۳ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۲۹/۹۹ ^{ns}	۳/۳۷ ^{ns}	۰/۱۰۳
خطا	۱۶	۰/۶۵۵	۰/۰۹	۲۸/۸۵	۲/۱۸	۰/۰۶۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۶/۰۳	۱۸/۱۴	۱۹/۸۵	۱۷/۷۸	۵/۹۱

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار است.



شکل ۴- تعداد گل آذین (الف) و شاخه فرعی (ب) سرخارگل تحت محلول پاشی اسید سالیسیلیک

Control: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، C₁: ۸ درجه سانتی‌گراد، C₂: ۴ درجه سانتی‌گراد

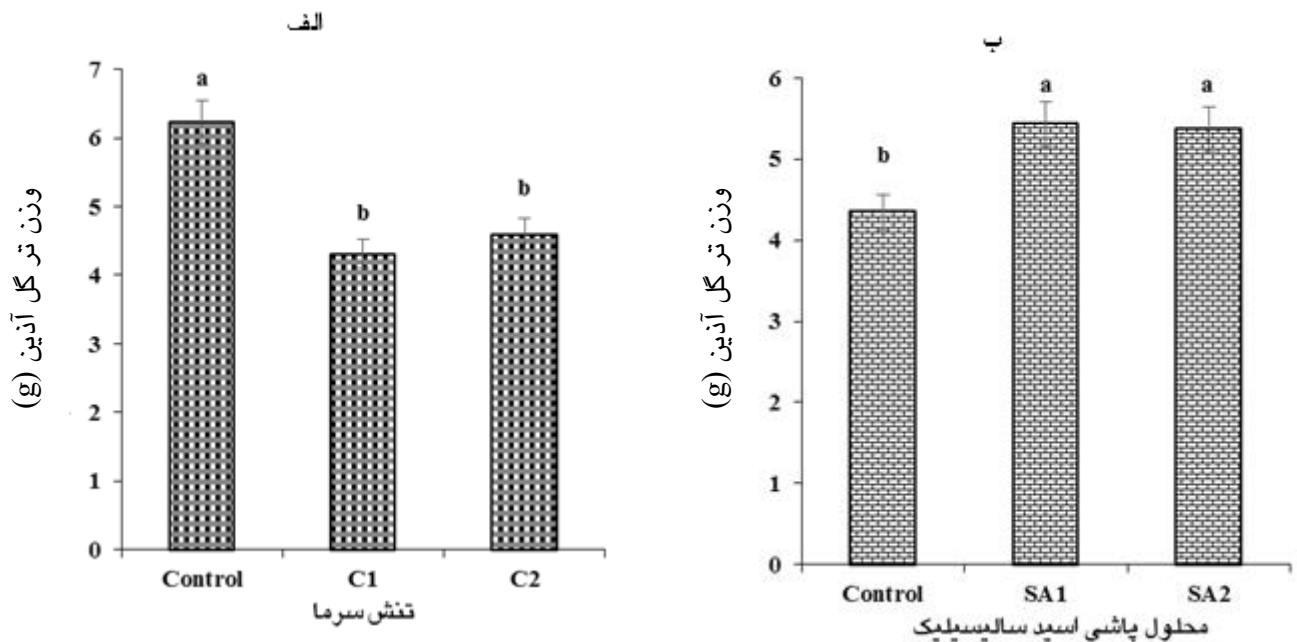
Control: آب پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

وزن تر و خشک گل آذین

تنش سرما موجب کاهش وزن تر گل آذین گردید و از لحاظ آماری بین دمای ۸ و ۴ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵ الف). محلول-پاشی در سطوح مختلف (۱ و ۲ میلی‌مولار) موجب افزایش وزن تر گل آذین گردید و اثر محلول پاشی ۱ و ۲ میلی‌مولار از نظر آماری مشابه بود (شکل ۵ ب). کاهش وزن تر گل آذین در دماهای ۴ و ۸ درجه سانتی‌گراد و افزایش آن با محلول پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند ناشی از تغییرات تعداد برگ (شکل ۲) و شاخص کلروفیل (شکل ۳) باشد. وزن خشک گل آذین فقط تحت تأثیر تنش سرما قرار گرفت و بین دمای ۸ و ۴ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۶). برگ به عنوان ارگان فتوسنتزی با دریافت نور و دی‌اکسید کربن می‌تواند محصولات فتوسنتزی را تولید و در اختیار بخش‌های مختلف گیاه قرار دهد در نتیجه هر چه تعداد برگ بیشتر باشد، با فعالیت بیشتر موجب افزایش وزن بخش‌های مختلف گیاه از جمله گل آذین گیاه می‌شود. محلول پاشی اسید سالیسیلیک موجب

افزایش میزان تقسیم سلولی مرستم انتهایی ریشه‌ها و افزایش رشد ریشه می‌گردد. افزایش رشد ریشه‌ای و حفظ سلامت آن توسط اسید سالیسیلیک سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش شده که در نهایت می‌تواند منجر به افزایش رشد گیاه و وزن گل آذین شود (اراسلان و همکاران ۲۰۰۷). گزارش‌ها نشان می‌دهد که تضاد بین اسید سالیسیلیک و اتیلن وجود دارد. تحت شرایط تنش سرما، کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند با محدود کردن تبدیل ۱-آمینو سیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید به اتیلن، بیوسنتز اتیلن را مهار کند و این می‌تواند رشد گیاه را حمایت کرده و موجب حفظ سطح سبز برگ و افزایش وزن گل و بوته شود (لسلی و رومانی ۱۹۸۶).

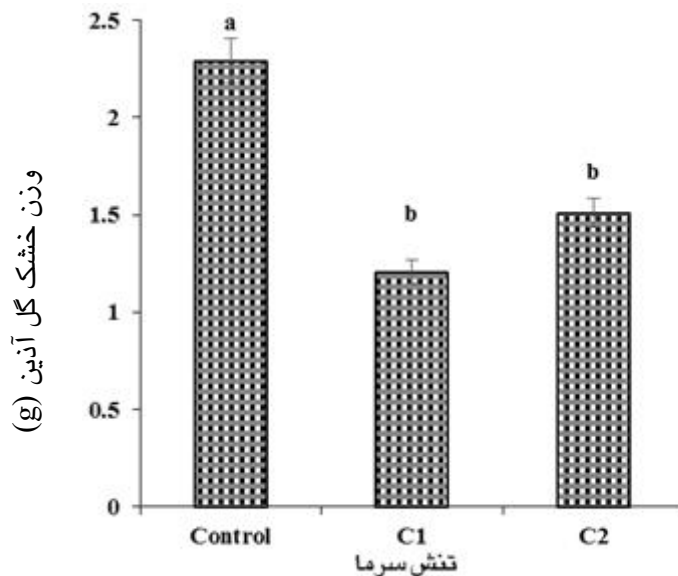


شکل ۵: وزن تر گل آذین سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما (الف) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (ب)

Control: ۲۵ درجه سانتی گراد، C₁: ۸ درجه سانتی گراد، C₂: ۴ درجه سانتی گراد

Control: آب پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.



شکل ۶- وزن خشک گل آذین سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما

Control: ۲۵ درجه سانتی گراد، C₁: ۸ درجه سانتی گراد، C₂: ۴ درجه سانتی گراد

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

وزن تر بوته و خشک بوته

دماهای مختلف روی وزن تر بوته از لحاظ آماری

اثر مشابه داشت و بالاترین وزن تر بوته از دمای

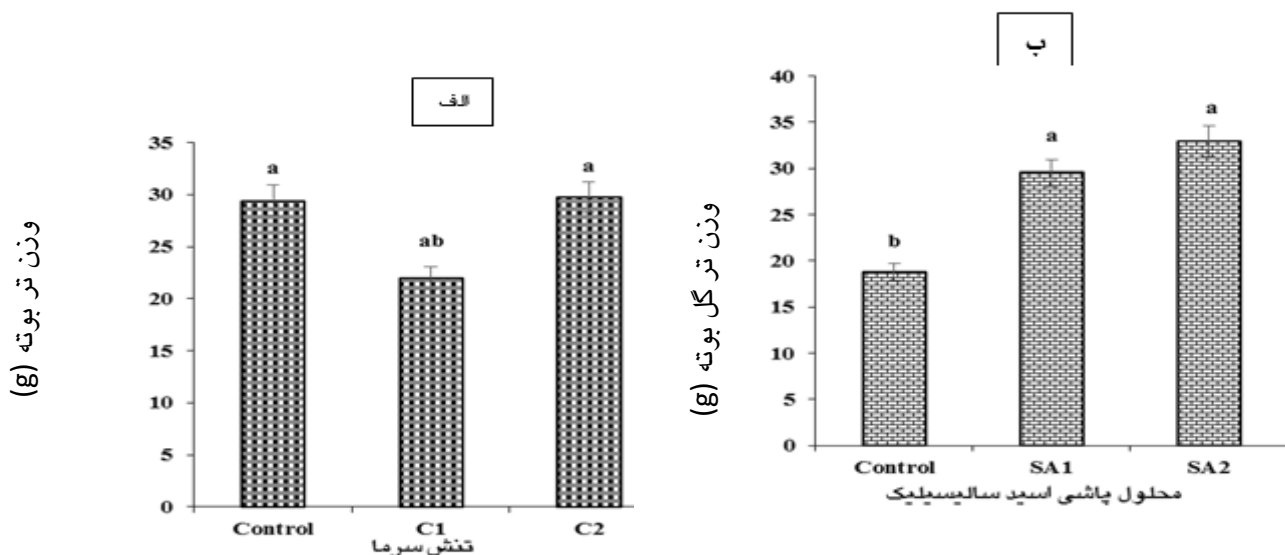
مطلوب رشد (۲۵ درجه سانتی گراد) و دمای ۴ درجه

سانتی گراد حاصل شد (شکل ۷ الف). محلول پاشی اسید

سالیسیلیک در سطوح مختلف موجب افزایش وزن تر

و در نتیجه موجب افزایش وزن بوته می‌گردد (وانگ و همکاران ۲۰۰۶). کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه سویا موجب افزایش زیست توده گردید (ارسلان و همکاران ۲۰۰۷). تیمار با اسید سالیسیلیک منجر به تجمع اسید آبسزیک می‌شود که سازگاری گیاهچه‌های تحت تنش را تحریک می‌کند. اسید ابسزیک، سنتز محدوده وسیعی از پروتئین‌های ضدتنش را القا می‌کند که موجب ایجاد مقاومت در گیاه می‌شود (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش فتوسنتز کل گیاه و تجمع بیشتر ماده خشک در گیاه شده و در نتیجه وزن خشک در گیاه ذرت و لوبیا افزایش می‌یابد (خان و همکاران ۲۰۰۳). به طور کلی اسید سالیسیلیک در تنش‌های محیطی اثر محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد گیاه گردیده است. به عبارت بهتر نقش حفاظتی اسید سالیسیلیک، بهبود برنامه‌های ضدتنش و تسریع در به حالت طبیعی برگشتن فرایندهای رشد، پس از حذف عوامل تنش‌زا است (صادق پور و آقایی ۲۰۱۲). اسید سالیسیلیک از طریق بهبود تثبیت کربن، افزایش سنتز متابولیت‌ها و حفظ آب بافت منتج به افزایش رشد گیاه می‌گردد. افزایش زیست توده گیاهی به اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر طول و تراکم ریشه نیز نسبت داده شده است (حیات و احمد ۲۰۰۷).

بوته سرخارگل گردید و بین یک میلی مولار و دو میلی مولار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۷ ب). تغییرات وزن تر بوته تحت تیمارهای مختلف می‌تواند مربوط به تغییرات ارتفاع بوته (شکل ۱)، تعداد برگ در بوته (شکل ۲)، شاخص کلروفیل برگ (شکل ۳)، تعداد گل‌آذین و شاخه فرعی (شکل ۴)، وزن تر (شکل ۵) و وزن خشک گل‌آذین (شکل ۶) ناشی از سرما و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باشد. بالاترین وزن خشک بوته سرخارگل از تیمار دمایی ۴ درجه و ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای مطلوب) حاصل شد و بین این دو از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۸ الف). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن خشک گردید و بین یک میلی مولار و دو میلی مولار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۸). وزن خشک بوته تابعی از تغییرات وزن تر بوته تحت تیمارهای مختلف می‌باشد (شکل ۷). تنش سرما با تحت تأثیر قرار دادن ریشه‌ها موجب محدودیت رشد آن‌ها و کاهش پتاسیل ریشه‌ها در جذب آب و عناصر غذایی می‌شود و از این طریق باعث ایجاد تنش ثانویه خشکی در گیاه می‌شود در نتیجه گیاه با کاهش رشد کلی مواجه می‌شود. تیمار گیاهان با اسید سالیسیلیک موجب افزایش سرعت فتوسنتز و رشد شده



شکل ۷: وزن تر بوته سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما (الف) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (ب)

Control: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، C₁: ۸ درجه سانتی‌گراد، C₂: ۴ درجه سانتی‌گراد

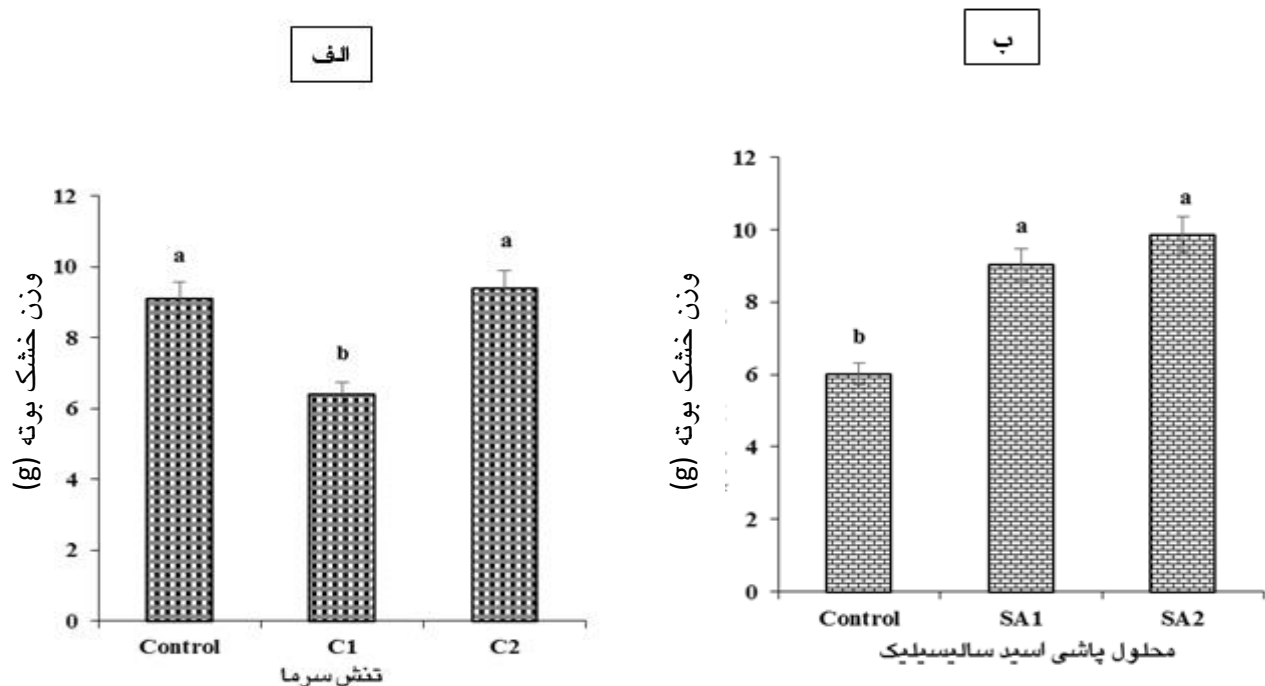
Control: آب‌پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه سرخارگل تحت تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۴). بالاترین عملکرد دانه از محلول پاشی ۲ میلی مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد که نسبت به شاهد ۱۶/۹ درصد بیشتر بود و از نظر آماری اختلاف معنی داری با محلول پاشی ۱ میلی مولار نداشت (شکل ۹). افزایش عملکرد دانه با کاربرد اسید سالیسیلیک به دلیل نقش مثبت آن در افزایش ارتفاع بوته (شکل ۱)، تعداد برگ (شکل ۲)، شاخص کلروفیل برگ (شکل ۳ ب)، تعداد گل آذین (شکل ۴ الف)، وزن تر گل آذین (شکل ۵ ب)، وزن تر (شکل ۷ ب) و وزن خشک بوته (شکل ۸ ب) باشد. اسید سالیسیلیک به طور ذاتی در گیاهان به عنوان آنتی اکسیدان ها عمل کرده و باعث حذف رادیکال های آزاد شده در گیاهان می شود (الیزابت ابرو و مونی بوش، ۲۰۰۸). اثر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه کلزا (کشاورز

و مدرس ثانوی، ۲۰۱۴)، کنجد (یوسفزاده نجف آبادی و احسانزاده، ۲۰۱۹)، و سویا (کریشنا و همکاران، ۲۰۰۴) گزارش شده است. افزایش شاخص کلروفیل برگ سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی بوته های بادام زمینی و به تبع آن موجب افزایش سنتز کربوهیدرات ها و بهبود عملکرد دانه در واحد سطح می گردد (چروده و همکاران، ۲۰۲۲). اسید سالیسیلیک با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طی حیات گیاه در مواجهه با تنش های زیستی و غیرزیستی، موجب افزایش قابل توجهی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می شود. اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت دارد و در واقع، اسید سالیسیلیک از طریق توسعه واکنش های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، سبب تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می گردد (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸).

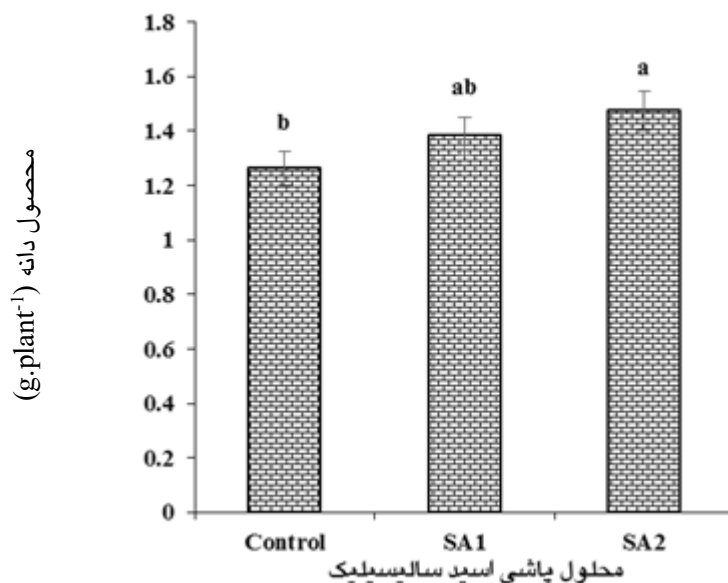


شکل ۸- وزن خشک بوته سرخارگل در سطوح مختلف تنش سرما (الف) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (ب)

Control: ۲۵ درجه سانتی گراد، C₁: ۸ درجه سانتی گراد، C₂: ۴ درجه سانتی گراد

Control: آب پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار

حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.



شکل ۹: عملکرد دانه سرخارگل در سطوح محلول پاشی اسید سالیسیلیک

Control: آب پاشی، SA1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار، SA2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی مولار
حروف متفاوت نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

گیاهان در پایین‌تر از دمای بهینه رشد با افت رشد و عملکرد مواجه می‌شوند. برای جلوگیری از کاهش رشد، نمو و عملکرد گیاهان در تنش دماهای پایین راهکارهای متفاوتی ارائه شده است. یکی از این راهکارها محلول پاشی تنظیم کننده‌های رشدی از جمله اسید سالیسیلیک می‌باشد. این تنظیم کننده رشد فنلی در شرایط وقوع سرما موجب حفظ فعالیت غشاهای سلولی، جلوگیری از بسته شدن روزنه‌ها، ممانعت از فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز شده و از رنگیزه‌های فتوسنتزی محافظت می‌کند. سالیسیلیک اسید موجب افزایش ارتفاع بوته برای دریافت بهتر نور و استفاده حداکثری از

منابع، تعداد برگ در بوته، تعداد گل و شاخه‌های فرعی، وزن بوته و محصول دانه می‌گردد. همچنین تولید اتیلن را به حداقل می‌رساند که در نهایت موجب تأخیر در پیری و حفظ رشد گیاه شده و باعث بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش سرما می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه تبریز و همکاران دانشکده کشاورزی، کارشناسان و کارکنان مرکز تحصیلات تکمیلی جهت پیشبرد اهداف این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Agha alikhani M. 2012. Purple coneflower, immune plant. Publications of Tarbiat Modares University, Tehran, 144 pp.
- Cao C and Kindscher K. 2016. The medicinal chemistry of Echinacea species. In: Kindscher, K. (Ed.), Echinacea: Herbal Medicine with a Wild History. Springer International Publishing, Cham, 127-145. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18156-1_9

- Chen YE, Cui JM, Li GX, Yuan M, Zhang ZW, Yuan S and Zhang HY. 2016. Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 60: 139-147. <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0564-4>
- Cheng ZY, Sun X, Liu P, Lin B, Li LZ, Yao GD, Huang XX and Song SJ. 2020. Sesquiterpenes from *Echinacea purpurea* and their anti-inflammatory activities. *Phytochemistry*, 179, 112503. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112503>
- Charvadeh MM, Zakerin HR. Mostafavi Rad M, Sayfzadeh S and Valadabady SA. 2022. Evaluation of physiological responses of Peanut to different irrigation regimes and foliar application of salicylic acid. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33 (4): 199-215. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.52803.2904>
- Elizabeth Abreu M and Munné-Bosch S. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of drought induced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 64: 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.016>
- Eraslan F, Inal A, Gunes A and Alpaslan M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 113: 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.03.012>
- Farzi Aminabad R and Nasrollahzadeh S. 2024. Investigate the physiological, biochemical, and productivity aspects of crops to cold stress. *Iranian Journal of Plant Physiology* 14 (3), 5141-5153. <https://doi.org/https://doi.org/10.71551/ijpp.2024.1025909>
- Gharib FL. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9 (2): 294-301.
- Ghassemi-Golezani K, Ghassemi S and Zehtab-Salmasi S. 2018. Changes in essential oil-content and composition of ajowan (*Carum copticum* L.) seeds in response to growth regulators under water stress. *Scientia Horticulturae*, 231: 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.011>
- Ghassemi-Golezani K, Lotfi R and Najafi N. 2015. Some physiological responses of mung bean to salicylic acid and silicon under salt stress. *Advances in Boresearch*, 6: 7-13.
- Hayat S and Ahmad A. 2007. *Salicylic Acid: a Plant Hormone*. Springer, Netherlands, 401 pp.
- Jabbarzadeh Z, Khosh-Khui M and Salehi H. 2009. The Effect of foliar-applied salicylic Acid on flowering of African Violet. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4): 4693-4696.
- Janda T, Szalai G, Gonzalez RK, Veisz O and Paldi E. 2003. Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Science*, 164: 301-306. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00414-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00414-4)
- Janska A, Marsik P, Zelenkova S and Ovesna J. 2010. Cold stress and acclimation what is important for metabolic adjustment? *Plant Biology*, 12: 395-405. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00299.x>
- Jiang L, Li W, Wang Y, Zhang X, Yu D, Yin Y and Yuan Y. 2014. Effects of cichoric acid extract from *Echinacea purpurea* on collagen-induced arthritis in rats. *The American journal of Chinese medicine*, 42(03): 679-692. <https://doi.org/10.1142/S0192415X1450044X>
- Jouyban Z, Hasanzade R and Sharafi S. 2013. Chilling stress in plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5: 2961.
- Kayed Nezami R, Balouchi HR and Yadavi AR. 2012. Effect of foliar application of salicylic acid on yield and yield components and some physiological traits of lentil (*Lens culinaris* Medik) varieties under salt stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 3(2): 97-110. (In Persian with English Abstract).
- Keshavarz H and Modarres Sanavy SAM. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties. *Electronical Journal of Crop Production*, 7(4): 167-178. (In Persian with English Abstract).

- Khan W, Prithviraj B and Smith DL. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Plant Physiology*, 160: 485-492. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865>
- Kim YH, Hamayun M, Khan AL, Na CI, Kang SM, Han HH and Lee IJ. 2009. Exogenous application of plant growth regulators increased the total flavonoid content in *Taraxacum officinale* (Wigg). *African Journal of Biotechnology*, 8: 5727-5732. <https://doi.org/10.5897/AJB09.927>
- Klessig DF, Choi HW and Dempsey DA. 2018. Systemic acquired resistance and salicylic acid: Past, present, and future. *Mol. Plant-Microbe Interact*, 31: 871-888. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-18-0067-CR>
- Leslie CA and Romani RJ. 1986. Salicylic acid: a new inhibitor of ethylene biosynthesis. *Plant Cell Reports*, 5: 144-146. <https://doi.org/10.1007/BF00269255>
- Ma X, Zheng J, Zhang X, Hu Q and Qian R. 2017. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. *Frontiers in Plant Science*, 8: 600. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00600>
- Mallahi T, Saharkhiz MJ and Jamal Javanmardi J. 2018. Salicylic acid changes morpho-physiological attributes of feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) under salinity stress. *Acta Ecologica Sinica*, <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.02.003>
- Mohammadi H, Pakkish Z and Saffari VR. 2015. Role of Methyl jasmonate and Salicylic acid applications on bloom delay, flowering and fruiting of Elberta Peach. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2 (1): 75-85.
- Moradi M and Goldani M. 2010. Evaluation of different levels of salicylic acid on some growth indexes of (*Calendula officinalis* L.) under low irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(1): 33-45 (In Persian with English Abstract).
- Nasibi F, Kalantari Kh and Manzari Tavakoli Z. 2020. Effects of hydrogen sulfide on cold -induced oxidative damage in *Cucumis sativus* L. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 7: 199-211. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.284285.301>
- Prasil IT, Prasilova P and Marik P. 2007. Comparative study of direct and indirect evaluation of frost tolerance in barley. *Field Crops Research*, 102: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.12.012>
- Sadeghipour O and Aghaei P 2012. Impact of exogenous Salicylic acid application on some traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4: 685-690.
- Sepehri A, Abasi R and Karami A. 2015. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield component of bean genotypes. *Journal of Crops Improvement*, 17(2): 503-516. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55196>
- Stone LR, Goodrum DE, Jaafar MN and Khan AH. 2002. Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agronomy Journal*, 93: 1105-1110. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351105x>
- Ullah C, Tsai CJ, Unsicker SB, Xue L, Reichelt M, Gershenzon J and Hammerbacher A. 2019. Salicylic acid activates poplar defense against the biotrophic rust fungus *Melampsora larici-populina* via increased biosynthesis of catechin and proanthocyanidins. *New Phytologist*, 221: 960-975. <https://doi.org/10.1111/nph.15396>
- Vlot AC, Dempsey MA and Klessig DF. 2009. Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47: 177-206. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.050908.135202>
- Wang L, Chen S, Kong W, Li S and Archbold DD. 2006. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and effects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41: 244-251. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.010>

- Yousefzadeh Najafabadi M and Ehsanzadeh P. 2019. Effect of salicylic acid on photosynthetic pigments content, antioxidant enzyme activity and yield components of three sesame genotypes under different irrigation regimes. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33): 137-152. (In Persian with English Abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.33.16.6>
- Zhang S, Zhang JJ, Zhao YM, Fei WT, Wang LY and Wang C. 2020. Study on literature of *Echinacea purpurea* and discussion on its herbalization. *Zhongguo Zhongyao Zazhi*, 45: 978-983.