

نشریه پژوهشی:

تأثیر پذیری سرخارگل (*Echinacea purpurea* L. Moench) از البستورهای اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات با پایش صفات مورفوفیزیولوژیک

محمود محبی^۱، سید نجم الدین مرتضوی^{۲*}، عزیزاله خیری^۳ و جلال صبا^۴

۱. مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی زنجان، زنجان، ایران

۲ و ۳. دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴. استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۸)

چکیده

پژوهشی به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای اسیدسالیسیلیک در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول در لیتر) و متیل جاسمونات در چهار سطح (صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول در لیتر) در سال‌های اول و دوم در دو مرحله (با فاصله ۲۰ روز) بر روی بوته‌های سرخارگل (چهار بوته در هر کرت) محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد اثر اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات بر ماندگاری گل، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، کلروفیل‌های a و b و کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار شد. همچنین بیشترین ماندگاری گل در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرومول متیل جاسمونات و بالاترین وزن تر و خشک ریشه و سطح برگ در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات حاصل شد. بیشترین محتوای نسبی آب گلبرگ و کاتالاز در سال اول در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات و در سال دوم در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات به دست آمد. میزان پراکسیداز نیز در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات (سال اول) و ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات (سال دوم) بالا بود. بیشترین میزان کلروفیل a در هر دو سال آزمایش و کلروفیل b در سال اول در تیمار ۱۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات بود. همچنین بالاترین میزان کلروفیل کل در تیمار ۵۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات (سال اول) و ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول در لیتر متیل جاسمونات (سال دوم) به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: البستور، آنزیم، فیتوهورمون، سرخارگل

Impressibility of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L. Moench) from Salicylic acid and Methyl Jasmonate Elicitors by Monitoring of Morpho-physiological Traits

Mahmood Mohebbi¹, Seyed Najmaddin Mortazavi^{2*}, Azizollah Kheiry³ and Jalal Saba⁴

1. Instructor, Research and Education Center of Zanjan, Zanjan, Iran

2, 3. Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

4. Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received: Sep. 10, 2020 - Accepted: May 18, 2021)

ABSTRACT

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Zanjan University (during 1396-97 and 1397-98). Salicylic-acid (control, 50, 100 and 150 mM) and methyl-jasmonate (control, 50, 100 and 200 μ M) treatments were sprayed on *Echinacea* plants (four plants per plot) in the first and second years (two stages, 20 days interval). The results showed that salicylic-acid and methyl-jasmonate have a significant effect on vase-life of flower, leaf-area, fresh and dry weight of roots, chlorophylls a and b and catalase and peroxidase. Also, the highest vase-life of flower was obtained in treatment of 100 mM salicylic-acid and 200 μ M methyl-jasmonate and the highest fresh and dry weight of roots and leaf-area were obtained in treatment of 100 mM salicylic-acid and 100 μ M methyl-jasmonate. The highest relative water-content of petal and catalase were obtained in treatment of 100 mM salicylic-acid and 100 μ M of methyl-jasmonate (first year) and in treatment of 100 mM of salicylic-acid and 50 μ M of methyl-jasmonate (second year). The amount of peroxidase was also high in treatments of 100 mM salicylic-acid and 200 μ M methyl-jasmonate (first year) and 100 mM salicylic-acid and 100 μ M methyl-jasmonate (second year). The highest amount of chlorophyll a in both years and chlorophyll b in the first year were in 100 mM salicylic-acid and 50 μ M methyl-jasmonate treatment. Also, the highest amount of total-chlorophyll was obtained in 50 mM salicylic-acid and 200 μ M methyl-jasmonate (first year) and 100 μ M salicylic-acid and 50 μ M methyl-jasmonate treatment (second year).

Keywords: Elicitor, enzyme, phytohormone, purple coneflower.

* Corresponding author E-mail: mortazavi46@yahoo.com

مقدمه

سلسله گیاهان زینتی بسیار گسترده بوده و هم اکنون بالغ بر ۳۰۰۰۰۰ گونه گیاه زینتی وجود دارد که از میان آنها بیش از ۱۰۰۰۰ گونه به عنوان گیاهان دارویی نیز شناخته شده‌اند (Prathapa Reddy *et al.*, 2015). در میان گیاهان آوندی و گلدار، خانواده آفتابگردان^۱ پیشرفته بوده و یکی از بزرگترین خانواده‌ها با ۱۱۰۰ جنس و ۲۵۰۰۰ گونه می‌باشد. برخی از جنس‌های این خانواده مانند سرخارگل علاوه بر زینتی بودن، دارای خواص دارویی نیز می‌باشند و از منابع داروهای گیاهی به شمار می‌روند (Sharma, 2014). جنس سرخارگل^۲ یک گیاه چندساله علفی و زینتی- دارویی مهمی است که بومی شمال آمریکا بوده و به طور وسیعی جهت استقرار در فضاهای سبز، ایجاد باغچه‌های چندساله و گاهی اوقات به عنوان گل‌بریده به کاربرده می‌شود (Wartidiningsih & Geneve, 1994a). در میان گونه‌های سرخارگل، *Echinacea purpurea* L. Moench یکی از عمده‌ترین گونه‌های تجاری می‌باشد که در حال حاضر به ایران معرفی شده است و در برخی از مناطق ایران کشت شده و علاوه بر کاربرد در فضای سبز به صورت تپه‌گل و حاشیه‌کاری، مواد موثره آن در برخی از داروها نیز به کاربرده می‌شود (Fariman & Noori, 2011). به همین جهت در طی دهه‌های گذشته، عمومی‌ترین محور در این زمینه از علوم گیاهی، بهره‌برداری از پتانسیل تجاری گیاهان زینتی از طریق بهبود کیفیت و عملکرد گل‌ها با استفاده از مواد شیمیایی تنظیم‌کننده رشد گیاهی برای ایجاد تغییر در الگوهای رشد و گلدهی برخی از محصولات باغی با اهمیت زینتی می‌باشد که می‌توانند اثر عمیقی بر واکنش‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی آنها داشته باشند (Parveen, 2017).

اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات از هورمون‌های گیاهی مورد استفاده در بیشتر پژوهش‌ها می‌باشند، زیرا به طور زیستی ترکیبات فعال مهمی را تحریک می‌کنند (Singh & Dwivedi, 2018) و به طور فعال

در مکانیسم‌های دفاعی گیاهان به ترتیب به واسطه مسیرهای فنیل پروپانوئید^۳ و اکتادکانوئید^۴ دخالت دارند (Scott *et al.*, 2010). اسیدسالیسیلیک هورمونی است طبیعی با فرمول شیمیایی $C_7H_6O_3$ که در گیاهان به عنوان تنظیم‌کننده بالقوه گیاهی عمل می‌نماید و نقش‌های مهمی در تنظیم تعدادی از فرآیندهای مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ایفا می‌کند.

محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک باعث افزایش غلظت‌های درون‌زای آن می‌شود که ممکن است دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر محافظت اسمزی باشد که بدین ترتیب تنش اکسیداتیوی در مکانیسم فتوسنتزی کاهش می‌یابد و در نهایت باعث افزایش رشد، عملکرد و کیفیت آن می‌گردد. گزارش شده است وزن تر و خشک شاخه و ریشه و سطح برگ با کاربرد اسیدسالیسیلیک در مراحل رویشی و گلدهی بهبود می‌یابد (Zaidi, 2015) که می‌تواند به اثر مثبت آن بر هورمون‌های گیاهی درون‌زا به ویژه اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها نسبت داده شود (Mady, 2014). همچنین، طول عمر گل‌های بریده را از طریق افزایش در جذب محلول، مواد جامد محلول و وزن تازه، پایداری غشاء و پیری به تأخیر افتاده حاصل از اثرات مهارکنندگی آن بر تولید اتیلن و کاهش تجمع گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن^۵، افزایش می‌دهد (Asgari & Ladan Moghadam, 2015). اسیدسالیسیلیک تأثیر خود را بر فتوسنتز از طریق عوامل روزنه‌ای، تجمع رنگدانه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم روبیسکو، رنگیزه و ساختار کلروپلاست و آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز اعمال می‌کند (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2011) و هنگامی که در غلظت‌های مناسبی به کار برده می‌شود باعث تنش اکسیداتیو زودگذری در گیاهان می‌گردد، که به عنوان فرآیند مقاوم‌سازی با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان یا با سنتز مواد ثابت‌دهنده مانند پلی‌آمین‌ها عمل نموده و به عنوان یک بخش پیام‌رسان کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه شناخته

3. Phenylpropanoid

4. Octadecanoid

5. ROS: Reactive Oxygen Species

1. Asteraceae

2. *Echinacea* sp.

دخیل بوده و قادر به تحریک فعالیت اسیدسالیسیلیک می‌باشد. در پژوهشی Yingbin *et al.* (2016) گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک اثرات مختلفی بر پیری تحریک شده با متیل‌جاسمونات داشته است که بستگی به غلظت‌های به کار رفته دارد و از دست دادن تدریجی محتوای کلروفیل و کارآیی فتوشیمیایی در برگ‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات نسبت به برگ‌های تیمار شده با متیل‌جاسمونات با شدت کمتری بوده و غلظت‌های کمتر اسیدسالیسیلیک باعث محافظت در برابر پیری ایجاد شده توسط متیل‌جاسمونات می‌شود. از این رو، هدف از این پژوهش برای دستیابی به بهترین اثرات اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات بر خصوصیات موفولوژیک و فیزیولوژیک سرخارگل در شرایط مزرعه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان (عرض جغرافیایی ۴۱° ۳۶'، طول جغرافیایی ۲۷° ۴۸' شمالی و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا) انجام شد. اطلاعات آب و هوایی سال‌های آزمایش در جدول ۱ ذکر شده است.

طرح آزمایشی و عملیات زراعی

در نخستین سال آزمایش (۱۳۹۶)، ابتدا پس از آماده سازی زمین مورد نظر (انجام شخم و تسطیح)، نشاءهای سرخارگل گونه پورپورا پس از تهیه در ۲۰ اردیبهشت ماه کشت شدند. طرح آزمایشی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف ۲/۴ متری به فاصله ۶۰ سانتیمتر از یکدیگر و فاصله بوته‌ها بر روی ردیف‌ها، ۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. در این پژوهش، تعداد تیمارها شامل ۱۶ تیمار با سه تکرار و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۴۸ واحد (چهار بوته در هر کرت) بود و تعداد کل بوته‌های قابل نمونه‌برداری (به غیر از بوته‌های حاشیه‌ای) نیز ۳۴۸ بوته بود.

می‌شود (Németh *et al.*, 2002). همچنین، باعث فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌گردد که این آنزیم‌ها نقش بسیار مهمی در غیر فعال نمودن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهی دارند که میزان فعالیت آنها در گیاهان بسته به گونه گیاهی و شدت تنش تغییر می‌یابد، در صورتی که سمیت‌زدایی از اکسیژن واکنش‌گر انجام نگیرد آسیب جدی به کلروفیل‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و اسیدهای هسته‌ای وارد خواهد شد (Alscher *et al.*, 2002).

متیل‌جاسمونات با فرمول شیمیایی $C_{13}H_{20}O_3$ به صورت مایع بی‌رنگی است که به عنوان یکی از هورمون‌های گیاهی در تنظیم بیان ژن‌ها، تنظیم مسیر متابولیت‌ها، ایجاد پاسخ‌های دفاعی و تولیدمثل مؤثر بوده و می‌تواند بسیاری از فرآیندهای مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را در گیاهان تحت تأثیر قرار دهد (Saisavoey *et al.*, 2014). متیل‌جاسمونات تحت شرایط نرمال باعث کاهش رشد در گیاهان می‌شود که با تغییر در ویژگی‌های سلول‌های محافظ موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت کاهش فتوسنتز می‌گردد (Chavoushi *et al.*, 2019). در این رابطه Sewedan *et al.* (2018) در پژوهشی گزارش کردند که افزایش در غلظت‌های متیل‌جاسمونات تا ۱۰۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش معنی‌داری در صفاتی مانند ارتفاع گیاه، سطح برگ در گیاه و وزن خشک در برگ‌های گیاه گلابول در مقایسه با غلظت آن در ۷۵ پی‌پی‌ام می‌شود. همچنین، متیل‌جاسمونات با اثر بر افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، در کاهش رادیکال‌های آزاد نقش دارد به طوری که با بالا نگهداشتن سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز مانع از اثر رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش بر غشاء می‌گردد (Wang, 1999).

غلظت‌های کم اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات وقتی به صورت تکی و یا همراه با هم به کار برده می‌شوند، می‌توانند ژن‌های مسئول اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات را بیان نمایند (Shetty *et al.*, 2011). Cao *et al.* (2010) نشان دادند که متیل‌جاسمونات در فعال‌سازی مسیر فنیل‌پروپانویید

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی ایستگاه زنجان در سالهای زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸.

Table 1. Meteorological information of Zanjan station in cultivation years of 2017-2018 and 2018-2019.

Cultivation Year (2017-2018)												
Month	September	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August
Average Temperature (°C)	15.7	12.7	3.8	5.5	2.3	7.5	14.4	10.6	21.2	25.5	26.3	23.9
Average Rainfall (mm)	0	11.7	20	17.5	70.3	26.8	39.8	22.1	0	1.3	4.8	0
Relative Humidity (%)	45	54	58	66	66	61	58	51	37	42	38	37
Cultivation Year (2018-2019)												
Month	September	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August
Average Temperature (°C)	16.1	8	5.3	1.1	2	3.8	11.8	13.3	19.3	26.3	26.3	21.8
Average Rainfall (mm)	8.8	26.5	67.2	26.3	45.5	28.2	14.2	62	23.2	0	0.7	1.8
Relative Humidity (%)	55	68	72	69	69	62	47	61	54	36	41	42

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان.

Table 2. Physical and chemical properties of soil in the research field of Zanjan University.

Soil Texture			Total N (%)	K (ppm)	P (ppm)	CaCO ₃ (%)	Organic Matter (%)	EC (mmohs cm ⁻¹)	pH
Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)							
37	38	25	0.07	286	9.60	7.20	0.94	1.49	7.4

با نخ علامت‌گذاری شده و با درج تاریخ از زمان علامت‌گذاری تا زمان پیری گل‌ها و میانگین‌گیری از تعداد روزهای گلدهی تا پژمردگی، ماندگاری گل بر روی بوته‌ها با توجه به نوع تیمارهای به کار رفته بر حسب روز به دست آمد.

سطح برگ^۲

پس از اتمام نمونه‌برداری‌ها از چهار بوته اصلی، برای تعیین سطح برگ از روش تخریبی استفاده شد. به همین منظور در هر کرت از تکرارها، چهار بوته که برای اندازه‌گیری صفت ارتفاع شاخه گل‌دهنده از سطح زمین کف بر شده بودند، مورد استفاده قرار گرفتند و همه برگ‌های بوته‌ها به طور جداگانه با قیچی جدا شده و پس از توزین با ترازو به وسیله دستگاه اسکنر (مدل Genius Vivid Pro)، اسکن شدند. سپس جهت اندازه‌گیری دقیق مساحت برگ، فایل‌های برگ‌های اسکن شده توسط نرم‌افزار Image J. بررسی شده و مساحت کلی آنها محاسبه شد. در نهایت پس از میانگین‌گیری، میانگین مساحت برگ‌های بوته‌ها بر حسب مترمربع در هر کرت به دست آمد.

در سال اول آزمایش پس از استقرار کامل گیاهان، غلظت‌های مختلف تیمارهای اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات به صورت جداگانه با فاصله ۲۴ ساعت و طی دو مرحله (با فاصله ۲۰ روز) بر روی بوته‌ها محلول‌پاشی شدند. تیمارها شامل اسیدسالیسیلیک در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول و متیل‌جاسمونات در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول بودند. تیمارها در سال دوم نیز مانند سال اول بر روی بوته‌های باقیمانده (چهار بوته در هر کرت) محلول‌پاشی شدند.

صفات مورد ارزیابی

از هر کرت، چهار بوته در سال اول و چهار بوته در سال دوم (جمعاً هشت بوته از هر کرت) انتخاب شده و نمونه‌برداری‌ها از بوته‌های سرخارگل به تدریج پس از گذشت دو هفته از دومین تکرار محلول‌پاشی مربوط به هر سال انجام شدند.

ماندگاری گل^۱ بر روی بوته‌ها

ابتدا تعداد چهار غنچه گل بر روی هر بوته در هر کرت

2. LA: Leaf Area

1. Vase Life of Flower

وزن تر و وزن خشک ریشه

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک‌ریشه، ریشه‌ها در اواخر رشد گیاه به طور کامل از خاک خارج شده و وزن تر آنها پس از شستشو و خشک نمودن، توزین و یادداشت شده و میانگین وزنی ریشه‌های تر به دست آمد. سپس این ریشه‌ها در داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد (دارای سیستم تهویه) قرار داده شدند و وزن خشک آنها پس از توزین یادداشت برداری شد و میانگین وزنی ریشه‌های خشک به دست آمد.

محتوای نسبی آب گلبرگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب گلبرگ از روش *Kaya et al.* (2003) استفاده شد. به همین جهت از برگ‌های تازه چیده شده به صورت تصادفی انتخاب شده و حدود یک گرم با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد و سپس با استفاده از فیچی به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شده و در پتری‌دیش‌های حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفتند تا به حالت اشباع برسند. پس از این مدت، وزن آماسیده آنها با استفاده از ترازو توزین شد. سپس نمونه‌ها در درون پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و وزن خشک آنها پس از توزین یادداشت گردید. در نهایت محتوای نسبی آب از فرمول زیر به دست آمد:

$$\%RWC = [(W_F - W_D) / (W_T - W_D)] \times 100$$

W_F : وزن تر برگ، W_T : وزن آماس برگ، W_D : وزن خشک برگ.

اندازه‌گیری کلروفیل‌ها (a, b و کل)

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌ها از روش *Kirk & Allen* (1965) استفاده شد. به همین منظور، پس از انتخاب تصادفی تعدادی از برگ‌ها، مقدار ۰/۲ گرم از آنها با ترازوی حساس ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیده و در هاون چینی توسط ازت مایع پودر شدند و به همراه استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شده و

به فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتری منتقل گردیدند. پس از سانتریفوژ کردن نمونه‌ها با دور ۳۰۰۰ (در دقیقه) به مدت ۱۵ دقیقه، از محلول رویی آنها مقدار یک میلی‌لیتر برداشته شده و جذب نمونه‌های کلروفیل‌های a و b به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شدند. از استون ۸۰ درصد به عنوان شاهد (بلانک) و تنظیم‌کننده دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. همچنین با استفاده از رابطه‌های زیر میزان هر یک از غلظت‌های کلروفیل‌ها بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر به دست آمد:

$$Chl\ a = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{645}$$

(میلی‌گرم کلروفیل a در گرم وزن تر)

$$Chl\ b = 21.21 A_{645} - 5.1 A_{663}$$

(میلی‌گرم کلروفیل b در گرم وزن تر)

$$Chl\ (a + b) = 8.05 A_{663} - 2.03 A_{645}$$

(میلی‌گرم کلروفیل کل در گرم وزن تر)

A: میزان جذب محلول در طول موج‌ها.

آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش *Bergmeyer* (1970) اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت این آنزیم در طول موج ۲۴۰ نانومتر و با بافر قرائت حاوی ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات‌پتاسیم (۵۰ mM و pH=۷/۴) و ۴/۵۱ میکرولیتر پراکسید هیدروژن (۳۰٪) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره استخراجی در طی ۶۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. سپس تفاوت مقدار جذب محلول واکنش بین زمان شروع و پایان واکنش (ΔA_{240}) به دست آمده و فعالیت آنزیم کاتالاز بر حسب میلی‌مول پراکسید هیدروژن در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین از رابطه زیر به دست آمد. قابل ذکر است که دستگاه برای هر نمونه مربوط به آنزیم کاتالاز ۳ عدد با فاصله زمانی ۲۰ ثانیه قرائت می‌کند.

$$U = \frac{\Delta A_{240} \times L \times V_t \times df}{\epsilon \times l \times t \times V_s}$$

U: واحد آنزیمی، V_s : حجم عصاره آنزیمی (برابر با

۱۰۰ میکرولیتر)، ϵ : ضریب خاموشی ($394\text{ mM}^{-1}\text{ cm}^{-1}$)

($\epsilon = l$)، L: مسافت طی شده توسط نور از مخلوط واکنشی

($l = 1$)، t: مدت زمان انجام واکنش (برابر با ۱ دقیقه)، V_t :

حجم محلول واکنش (برابر با ۳۱۰۵ میکرولیتر)، df:

نشان داد که عامل سال در بیشتر صفات معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. از این‌رو، مقایسه میانگین کلیه صفات با داده‌های دو سال آزمایش انجام شد (جدول ۴). طبق نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود که میزان محتوای نسبی آب گلبرگ (۷۰/۵۹ درصد) در سال ۱۳۹۶ کمی بیشتر از سال ۱۳۹۷ بود، اما اثر سال معنی‌دار نبود. در کل می‌توان نتیجه گرفت این تفاوت اندک به علت اثر متقابل سال با اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات ($p < 0/01$) و اثر متقابل سال با اسیدسالیسیلیک با متیل‌جاسمونات بر میزان محتوای نسبی آب گلبرگ ($p < 0/05$) بوده است. طبق نتایج، بیشتر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در سال دوم نسبت به سال اول برتری داشته‌اند که این امر می‌تواند به دلیل اثر سال و همچنین تفاوت شرایط محیطی و اقلیمی دو سال آزمایش نیز باشد (جدول ۴).

ماندگاری گل

طبق نتایج جدول ۳، اثر تیمارهای اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات و همچنین اثر متقابل اسیدسالیسیلیک با متیل‌جاسمونات در ماندگاری گل معنی‌دار شده‌اند ($p < 0/01$). با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که بیشترین ماندگاری گل (۲۴ روز) در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرومول متیل‌جاسمونات حاصل شده است.

بهبود مدت زمان گلدهی می‌تواند به صورت نقش تنظیم‌کنندگی داخلی اسیدسالیسیلیک در رشد تعبیر شود که نقش مهمی در افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ایفا کرده و باعث تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد. همچنین کاربرد اسیدسالیسیلیک سطح برگ گیاهان تیمار شده را افزایش می‌دهد که در نهایت کیفیت و کمیت گل را منعکس می‌کند (Hayat & Ahmad, 2007). نتایج قابل ملاحظه‌ای در باره بهبود شاخص پایداری غشا با محلول‌پاشی برگی در غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک در گل‌ژبر (*Gerbera jamesonii*) (Danaee et al., 2011) و گل‌گلابول (*Ezhlmanthi et al., 2007*) گزارش شده‌اند که منجر به افزایش عمر گل‌ها می‌گردند، به همین دلیل اسیدسالیسیلیک به عنوان یک تیمار موثر

ضریب رقیق‌کننده (V_s/V_t)، I: براساس ضریب پراکسید هیدروژن در معادله مشخص می‌شود ($\lambda = 2$)، ΔA_{240} : تفاوت مقدار جذب محلول واکنش بین زمان شروع و پایان واکنش

آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش Herzog & Fahimi (1973) اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر و با بافر قرائت حاوی ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (۵۰ mM و ۷/۳ pH) و ۴/۵۱ میکرولیتر پراکسید هیدروژن (۰/۳۰)، ۳/۳۵ میکرولیتر گایاکول و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره استخراجی در طی ۱۲۰ ثانیه اندازه‌گیری شد، به همین جهت ۶ فاصله ۲۰ ثانیه‌ای در طی ۱۲۰ ثانیه برای مقدار جذب و قرائت تعیین شده و فاز تأخیری ۶۰ ثانیه‌ای نیز در نظر گرفته شد. فعالیت ویژه این آنزیم که توسط پراکسید هیدروژن تجزیه می‌شود، با استفاده از رابطه زیر و برحسب میلی‌مول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد:

$$U = \frac{\Delta A_{470} \times L \times V_t \times df}{\varepsilon \times l \times t \times V_s}$$

U: واحد آنزیمی، ΔA_{470} : اختلاف مقدار جذب محلول واکنش در اول و آخر واکنش، V_t : حجم محلول واکنش، df: عامل رقیق‌کننده (V_s/V_t)، t: طول زمان واکنش (برابر با ۲ دقیقه)، V_s : حجم نمونه، ε : ضریب خاموشی ($= 26/6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)، l: مسافت طی شده توسط نور از محلول واکنش ($= 1$)، L: ضریب پراکسید هیدروژن در معادله ($= 4$).

آنالیز داده‌ها

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹/۱ و MSTAT-C و رسم نمودارها به وسیله Excel انجام گرفت. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل- اسپلیت در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج

وزن خشک ریشه (۷۹/۹۸ گرم) نیز مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرولیتر متیل جاسمونات بود (شکل های ۲ و ۳).

گزارش شده است اثرات افزایشی و مثبت اسیدسالیسیلیک بر رشد می تواند به تغییرات در وضعیت هورمونی و یا به بهبود فتوسنتز و افزایش در جذب دی اکسید کربن و میزان تبادلات گازی نسبت داده شود (Karlidage *et al.*, 2009; Koppad *et al.*, 2017). همچنین، اسیدسالیسیلیک عملکرد گیاهان را با تشکیل آنزیم های فتوسنتزی و از طریق سنتز کلروفیل و تسریع فتوسنتز بهبود می بخشد (Hayat *et al.*, 2007). اسیدسالیسیلیک یک تنظیم کننده مهم فتوسنتزی می باشد، چون فعالیت دو آنزیم کلیدی مانند ربیولوز ۱، ۵- بی فسفات کربوکسیلاز/ اکسیژناز^۲ و کربونیک آنهیدراز^۳ را در سنتز کربوهیدرات ها افزایش می دهد (Rivas & Plasencia, 2011). به همین جهت افزایش در عملکرد گیاهی عمدتاً به علت اثر مثبت اسیدسالیسیلیک بر طول ریشه و تراکم آن است (Larqu e-Saavedra & Martin-M ex, 2007). Pacheco *et al.* (2013) با تحقیق بر روی گل همیشه بهار خاطر نشان کردند که اسیدسالیسیلیک اثرات تحریکی بر فرآیندهای گوناگون مرتبط با رشد و نمو گیاهان دارد. کاربرد متیل جاسمونات در گیاهان تحت شرایط عادی رشد، باعث کاهش رشد در آنها می شود. این عقب ماندگی در رشد را می توان به نقش متیل جاسمونات در تغییر مشخصات سلول های محافظ که منجر به بسته شدن روزنه ها و کاهش فتوسنتز می شوند، نسبت داد (Chavoushi, 2019). محلول پاشی با متیل جاسمونات می تواند بیان ژن های مرتبط با فتوسنتز را افزایش دهد، به عنوان مثال افزایش زیربخش کوچکی از آنزیم روبیسکو و نیز ترجمه آنها منجر به افزایش در آنزیم روبیسکو و محتوای کلروفیل می گردد (Janoudi & Flore, 2003).

سطح برگ

طبق نتایج جدول ۳، تیمارهای اسیدسالیسیلیک و اثر

برای افزایش طول عمر گل های شاخه بریده از قبیل گل گلابول (Hatamzadeh *et al.*, 2012)، رز (Gerailoo & Ghasemnezhad, 2011) و میخک (Kazemi *et al.*, 2011) پیشنهاد شده است.

اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات هورمون های گیاهی هستند که در واکنش با اتیلن از بیوسنتز آن جلوگیری کرده و پیری را به تأخیر می اندازند. غلظت های کم اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات وقتی به صورت تکی و یا همراه با هم به کار برده شوند، می توانند ژن های مسئول اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات را بیان نمایند (Shetty *et al.*, 2011). Yingbin *et al.* (2016) گزارش کردند که کاربرد اسیدسالیسیلیک اثرات گوناگونی بر پیری تحریک شده برگ توسط متیل جاسمونات با توجه به غلظت های مورد استفاده در آن دارد و از دست دادن تدریجی محتوای کلروفیل و راندمان فتوشیمیایی^۱ در برگ های تیمار شده با کاربرد توأم اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات نسبت به آنهایی که تنها با متیل جاسمونات تیمار شده بودند، نسبتاً کمتر می باشد که در نتیجه غلظت های کم اسیدسالیسیلیک باعث محافظت از پیری ناشی از متیل جاسمونات می شود. Christelle *et al.* (2001) در آزمایشی نشان دادند مدت زمان ماندگاری گل ها بر روی بوته ها (تعداد روزها از باز شدن اولین گلچه تا پژمرده شدن آنها) به طور معنی داری با کاربرد اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات یا ترکیب آنها در هر دو فصل در مقایسه با تیمار شاهد بهبود می یابد.

وزن تر و خشک ریشه

طبق نتایج جدول ۳، اثر اسیدسالیسیلیک ($p < 0.01$) و اثر متقابل اسیدسالیسیلیک با متیل جاسمونات ($p < 0.05$) بر وزن تر و خشک ریشه معنی دار شده اند، در حالیکه اثر متیل جاسمونات معنی دار نشده است. همچنین، بیشترین مقدار وزن تر ریشه (۲۳۹/۸ گرم) مربوط به تیمارهای ۱۰۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات و بیشترین مقدار

2. Rubisco
3. Carbonic Anhydrase

1. Photochemical

سطح و وزن خشک برگ‌های گیاه گلاپول در مقایسه با شاهد شدند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

محتوای نسبی آب گلبرگ

با توجه به نتایج جدول ۳، اثر اسیدسالیسیلیک ($p < 0.05$) بر محتوای نسبی آب و متیل جاسمونات ($p < 0.01$) در محتوای نسبی آب معنی‌دار شده است، درحالی‌که اثر متقابل آنها معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین، نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که در سال اول بیشترین محتوای نسبی آب (۷۵/۰۵ درصد) در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات به دست آمده است، در حالی‌که بیشتر تیمارها با این تیمار تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. همچنین بیشترین محتوای نسبی آب (۷۵/۷۷ درصد) در سال دوم در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول متیل جاسمونات حاصل شده است، در حالی‌که این تیمار با برخی از تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. محتوای نسبی آب شاخص مهمی بوده و به عنوان واحد اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه مورد ملاحظه قرار گرفته است که منعکس‌کننده فعالیت متابولیکی در بافت‌ها بوده و به عنوان شاخص معنی‌داری برای تحمل به خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Barahuyi Nikju, 2017). مطابق گزارش Li et al. (2014)، تیمار اسیدسالیسیلیک قادر به افزایش و حفظ محتوای نسبی آب بالا در گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهان بدون اسیدسالیسیلیک می‌باشد. Youssef et al. (2017) نشان دادند که کلیه غلظت‌های اسیدسالیسیلیک، محتوای نسبی آب و شاخص پایداری غشاء را در مقایسه با گیاهان شاخص در طی دو فصل افزایش می‌دهند. نتایج به دست آمده در مطابقت با نتایج گزارش شده توسط Szepesi et al. (2005) می‌باشد که دریافتند کاربرد خارجی اسیدسالیسیلیک محتوای نسبی آب را در برگ‌های گوجه فرنگی افزایش می‌دهد که ممکن است به آن اسیدسالیسیلیکی نسبت داده شود که می‌تواند مقاومت انتشار برگی و تعرق کمتر در گیاهان را افزایش دهد. علاوه بر این، بهبود در محتوای آب برگ با کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به تجمع اسمولیت‌های مختلفی همچون قند، الکل قند و

متقابل اسیدسالیسیلیک با متیل جاسمونات ($p < 0.01$) و متیل جاسمونات ($p < 0.05$) تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ داشته‌اند. همچنین، بیشترین مقدار سطح برگ (۷۵/۰۷ مترمربع) در تیمار ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرولیتر متیل جاسمونات حاصل شده است (شکل ۴).

اسیدسالیسیلیک با تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم بر افزایش تعداد سلول‌ها و یا افزایش اندازه آنها منجر به افزایش سطح برگ می‌شود (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2011; Khan et al., 2003; Gharib, 2006). کاربرد اسیدسالیسیلیک سطح برگ گیاهان تیمار شده را افزایش می‌دهد که کیفیت و کمیت گل را نیز منعکس می‌کند (Hayat & Ahmad, 2007). در پژوهشی، Zeb et al. (2017) بیان کردند عکس‌العمل بین اسیدسالیسیلیک و رقم نشان می‌دهد که سطح برگ در همه کولتیوارها با تمامی غلظت‌های اسیدسالیسیلیک افزایش می‌یابد، با این وجود بیشترین تعداد برگ برای گل آهار با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسیلیک به ثبت رسیده است. از آنجا که مربوط به عکس‌العمل بین اسیدسالیسیلیک و کولتیوار می‌باشد، غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک به طور معنی‌داری در همه کولتیوارهای منتخب گل آهار باعث در افزایش ارتفاع شدند.

Walia et al. (2007) گزارش کردند که متیل جاسمونات در غلظت کم، دارای اثر تحریک‌کنندگی بر رشد گیاهان بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای سطح برگ را افزایش می‌دهد. در پژوهشی، محلول پاشی برگی گیاه بابونه آلمانی با متیل جاسمونات منجر به افزایش سطح برگ شد (Salimi et al., 2011). Sewedan et al. (2018) در تحقیقی بیان کردند که افزایش غلظت‌های متیل جاسمونات در ۱۰۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش معنی‌داری در میانگین مقادیر سطح برگ و وزن خشک برگ‌های گیاه گلاپول در دو فصل رشد در مقایسه با غلظت آن در ۷۵ پی‌پی‌ام شد. به طور کلی داده‌ها در باره سطح برگ در هر گیاه و وزن خشک برگ‌ها در طی دو فصل نشان دادند که کاربرد برگی اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات و عکس‌العمل بین آنها منجر به افزایش معنی‌داری در

اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات و بیشترین میزان کلروفیل کل در سال اول (۵/۳۲) میلی گرم در گرم وزن (تر) در غلظت‌های ۵۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرومول متیل جاسمونات و بیشترین میزان آن در سال دوم (۵/۳۱) میلی گرم در گرم وزن (تر) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول متیل جاسمونات به دست آمده است.

کاهش محتوای کلروفیل یکی از مهمترین و مؤثرترین عوامل در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان می باشد (Abd El-Baky *et al.*, 2008). Zaidi (2015) گزارش کرد که بهبود در کارایی فتوسنتز تا حدی با مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی همراه می باشد که ممکن است به دلیل نقش محافظت اسمز اسیدسالیسیلیک بر کلروپلاست (غشاهای تیلاکوئید) باشد، بدین معنی که استفاده خارجی از اسیدسالیسیلیک باعث افزایش غلظت‌های درون‌زای آن شده و ممکن است دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر محافظت اسمز باشد که بدین ترتیب تنش اکسیداتیوی در مکانیسم فتوسنتزی کاهش یافته و در نهایت باعث افزایش رشد، عملکرد و کیفیت آن می گردد. Elsadek (2018) در پژوهشی بیان کرد که محتوای کلروفیل برگ‌های گل کوکب به طور قابل توجهی با کاربرد اسیدسالیسیلیک افزایش می یابد که احتمالاً این هورمون، تخریب کلروفیل‌ها را به تأخیر انداخته و یا بیوستنز آنها را افزایش داده و یا غشای تیلاکوئید را تثبیت می کند.

پروپین می گردد که مسئول تنظیم اسمز هستند (Szepesi *et al.*, 2005; Umebese *et al.*, 2009; Bidabadi *et al.*, 2012). Khalvandi *et al.* (2018) با کاربرد متیل جاسمونات (۷۵ میکرومول) بر روی گیاه نعنای فلفلی گزارش کردند که میزان محتوای نسبی آب افزایش یافته و مقدار نشت یونی کاهش می یابد.

محتوای کلروفیل (کلروفیل‌های a, b و کل)

با توجه به جدول ۳ مشاهده می شود که اثر اسیدسالیسیلیک بر کلروفیل‌های a و b و اثر متیل جاسمونات بر کلروفیل b معنی دار شده اند ($p < 0.01$)، همچنین، اثر متیل جاسمونات بر کلروفیل کل ($p < 0.05$) و اثر متقابل اسیدسالیسیلیک با متیل جاسمونات بر کلروفیل‌های a و b و کل ($p < 0.01$) معنی دار شده اند. با توجه به جدول ۵ مشاهده می شود که بیشترین میزان کلروفیل a در سال اول (۸۱/۹) میلی گرم در گرم وزن (تر) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول متیل جاسمونات و بیشترین میزان آن در سال دوم (۸۱/۲) میلی گرم در گرم وزن (تر) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول متیل جاسمونات، بیشترین میزان کلروفیل b در سال اول (۲/۰۴) میلی گرم در گرم وزن (تر) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی مول اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول متیل جاسمونات و بیشترین میزان آن در سال دوم (۲/۲۸) میلی گرم در گرم وزن (تر) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی مول

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیکی سرخارگل

Table 3. Variance analysis of morphophysiological traits of purple cone flower (*Echinacea purpurea*)

S.O.V	df	Mean squares										
		Vase Life of Flower	Leaf Area	Fresh Weight of Root	Dry Weight of Root	Relative Water Content of Petal	Chl. a	Chl. b	Total Chl.	Catalase Enzyme	Peroxidase Enzyme	
R	2	2.4	0.032	896.24	280.56	20.24	0.187	0.001	0.004	0.049	0.110	
SA	3	62.58**	0.186**	11451.82**	1714.90**	20.06*	0.294**	0.858**	0.056	0.342**	0.535**	
meJA	3	27.36**	0.054*	859.59	229.2	43.50**	0.099	0.088**	0.277*	0.249**	0.229	
SA × meJA	9	15.88**	0.095**	2413.18*	347.98*	10.83	1.20**	0.056**	0.568**	0.060**	0.753**	
Error1	30	6.82	0.012	541.82	81.67	5.80	0.056	0.009	0.058	0.017	0.185	
Year	1	461.02**	0.772**	49160.28**	7146.47**	17.27	3.93**	0.143**	1.90**	2.257**	2.724**	
R × Y	2	6.28*	0.055*	1212.30	466.90	8.07	0.027**	0.005**	0.098	0.019	0.118	
SA × Y	3	1.18	0.01	2589.51*	393.69*	35.97**	0.460**	0.182**	0.333*	0.219**	0.431	
meJA × Y	3	0.68	0.020	1599.32	208.55	43.88**	1.10**	0.056**	0.481**	0.168**	0.433	
SA × meJA × Y	9	1.37	0.024	1153.50	159.88	16.73*	1.69**	0.029**	0.345**	0.133**	0.852**	
Error2	30	1.38	0.016	917.35	119.25	6.62	0.056	0.008	0.081	0.011	0.208	
CV (%)	-	6.06	22.74	15.68	17.51	3.67	3.39	4.92	6.22	20.85	24.75	

* **, Significantly at probability level of 0.05 and 0.01, respectively.

* ** به ترتیب، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

SA: Salicylic Acid; meJA: Methyl Jasmonate; Y: Year

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی سرخارگل در دو سال آزمایش (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷)

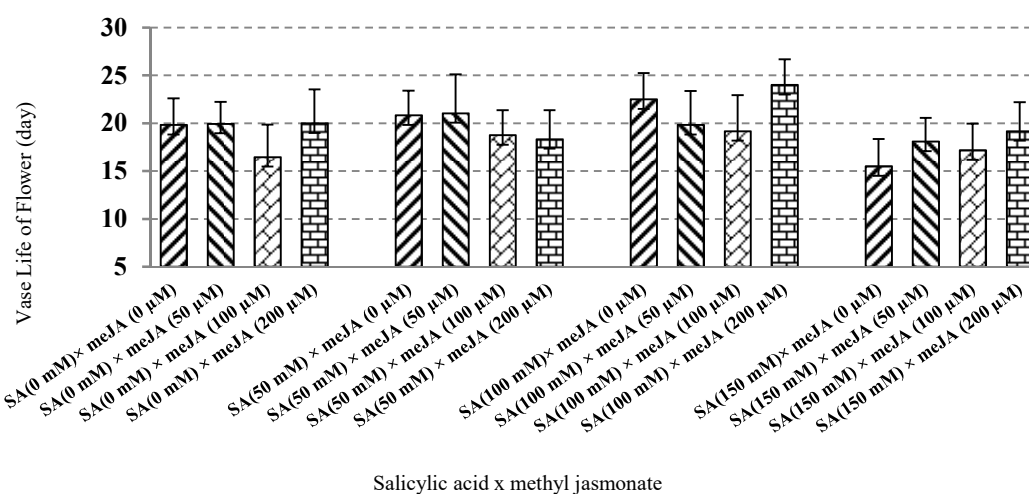
Table 4. Mean comparison of morphophysiological traits of purple cone flower (*Echinacea purpurea*) in two years (2017 and 2018)

Year	Vase Life of Flower (day)	Leaf Area (m ²)	Fresh Weight of Root (gr)	Dry Weight of Root (gr)	Relative Water Content of Petal (%)	Chl. a (mg g ⁻¹ FW)	Chl. b (mg g ⁻¹ FW)	Total Chl. (mg g ⁻¹ FW)	CAT Enzyme (mM H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg ⁻¹ Pro)	POD Enzyme (mM min ⁻¹ mg ⁻¹ Pro.)
2017	17.22 b	0.51 b	170.48 b	53.74 b	70.59 a	6.85 b	1.73 b	4.42 b	0.36 b	1.37 b
2018	21.6 a	0.81 a	215.74 a	71.00 a	69.74 a	7.25 a	1.80 a	4.76 a	0.67 a	1.70 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

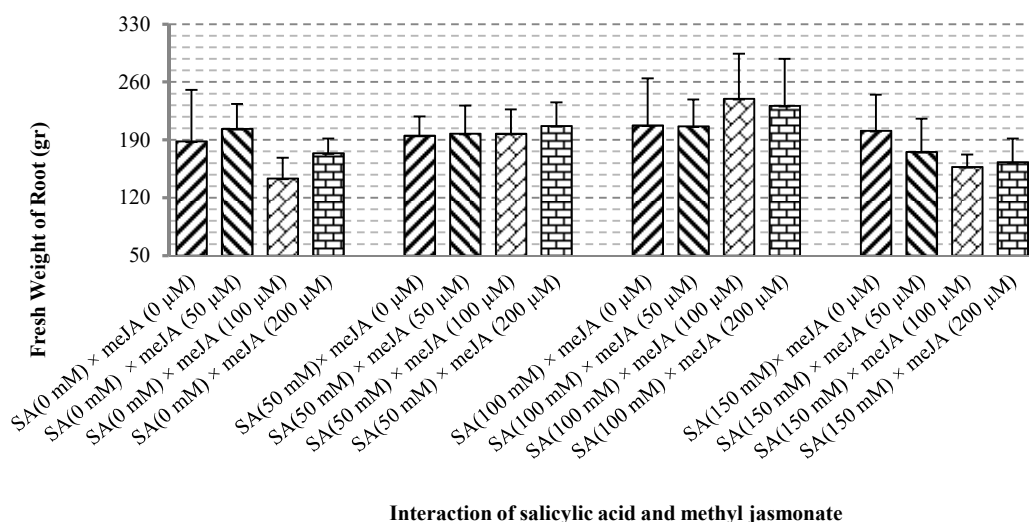
Means with same letters are not significantly different from each other ($P < 0.05$).

CAT: Catalase Enzyme, POD: Peroxidase Enzyme.



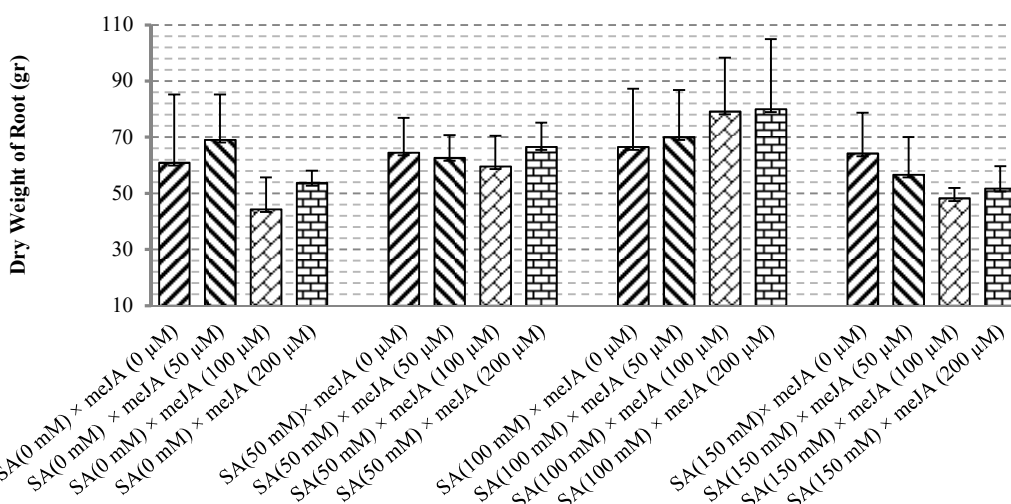
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات در سال‌های اول و دوم آزمایش بر ماندگاری گل سرخارگل.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of salicylic acid and methyl jasmonate in the first and second years on flower vase life of purple coneflower (*Echinacea purpurea*).



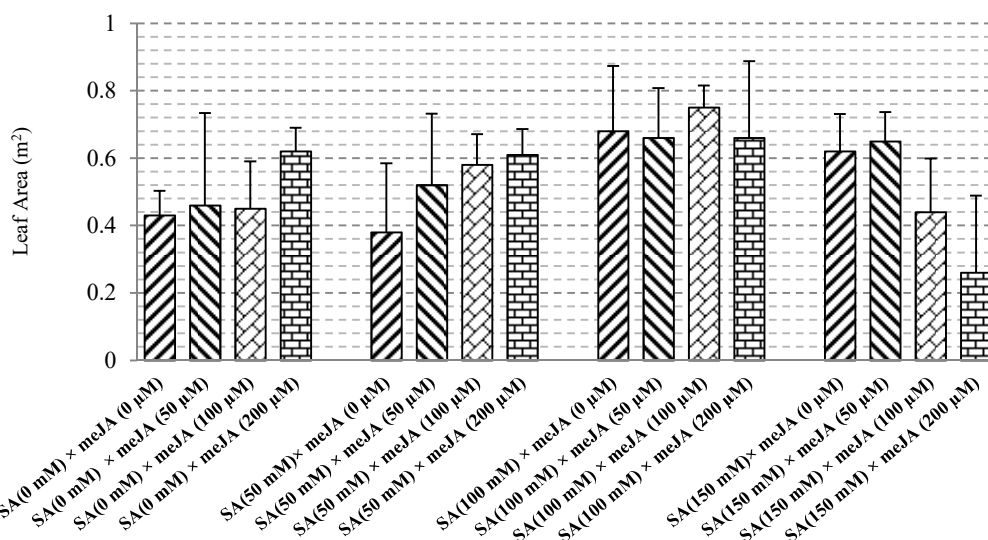
شکل ۲. اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات در سال‌های اول و دوم آزمایش بر وزن تر ریشه سرخارگل

Figure 2. Interaction of salicylic acid and methyl jasmonate in the first and second years on root fresh weight of purple coneflower (*Echinacea purpurea*)



Interaction of salicylic acid and methyl jasmonate

شکل ۳. اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات در سال‌های اول و دوم آزمایش بر وزن خشک ریشه سرخارگل
Figure 3. Interaction of salicylic acid and methyl jasmonate in the first and second years on root dry weight of purple coneflower (*Echinacea purpurea*)



Interaction of salicylic acid and methyl jasmonate

شکل ۴. اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات در سال‌های اول و دوم آزمایش بر سطح برگ سرخارگل
Figure 4. Interaction of salicylic acid and methyl jasmonate in the first and second years on leaf area of purple coneflower (*Echinacea purpurea*)

است. اسیدسالیسیلیک در غلظت‌های بالا سبب سنتز اتیلن شده و در غلظت‌های مناسب از ساخت آن جلوگیری می‌کند و از این رو بر تولید و ماندگاری مولکول‌های کلروفیل مؤثر است. مکانیسم اثرگذاری اتیلن بر کلروفیل‌ها از راه افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیل‌از است که در شرایط طبیعی با تسریع در

نشان داده شده است که تغییرپذیری کلروفیل‌ها تحت تأثیر اسیدسالیسیلیک به اثر این ترکیب بر فعالیت آنزیم ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک/اسید سنتاز یا اکسیداز^۱ در فرآیند تولید اتیلن مرتبط

1. ACC: 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase/oxidase

تدریجی محتوای کلروفیل و کارآیی فیتوشیمیایی در برگ‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات نسبت به برگ‌های تیمار شده با متیل‌جاسمونات با شدت کمتری بوده و غلظت‌های کمتر اسیدسالیسیلیک باعث محافظت در برابر پیری ایجاد شده توسط متیل‌جاسمونات می‌شود. Sewedan *et al.* (2018) بیان کردند که محتوای کلروفیل کل در برگ‌های تازه گلایول به طور معنی‌داری به علت تیمارهای اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات و اثرات متقابل آنها در طی دو فصل در مقایسه با گیاهان تیمار نشده، افزایش می‌یابد. این نتایج ممکن است به تنظیم آب گیاه که عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر را حمل نموده و افزایشی در محتوای کلروفیل منعکس می‌کنند، نسبت داده شود.

اثر ایسیستورهای اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌ها

گیاهان دارای سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی متشکل از اجزای آنزیمی و غیر آنزیمی هستند که به طور معمول تعادل گونه‌های فعال اکسیژن را در درون سلول‌ها حفظ کرده و از مجموعه‌های گوناگونی از آنزیم‌ها مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز و همچنین آنتی‌اکسیدان‌هایی با وزن مولکولی کم استفاده می‌کنند تا انواع مختلفی از گونه‌های فعال اکسیژن را پاکسازی نمایند (Mittler, 2007; Ali *et al.*, 2006; Ali *et al.*, 2002). ملاحظه اثرات اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات بر کل ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های مختلف آنتی‌اکسیدان، به عنوان بخش‌هایی از کل این سیستم، نشان می‌دهد که اثر هر یک از این مواد فیتوشیمیایی بر بخش‌های مختلف سیستم آنتی‌اکسیدانی در شکل‌های متفاوتی ظاهر می‌شود (Asghari & Hasanloo, 2015).

آنزیم کاتالاز

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اثرات اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات و اثر متقابل اسیدسالیسیلیک با متیل‌جاسمونات بر آنزیم کاتالاز

تخریب کلروفیل‌ها سبب ظهور بافت‌های رنگی از راه آشکارسازی کاروتنوئیدها و دیگر رنگدانه‌های غیرسبزین‌های می‌شود (Li *et al.*, 1992). Abdel-Wahed (2006) در پژوهشی دریافت که کاربرد اسیدسالیسیلیک کلروفیل‌های a و b را در گیاه آپارتمانی سینگونوم^۱ افزایش می‌دهد.

همچنین مشخص شده است متیل‌جاسمونات نیز با افزایش در فعالیت آنزیم ۱- آمینوسیکلوپروپان-۱- کربوکسیلیک/سید سنتاز یا اکسیداز و بیوسنتز اتیلن بر میزان رنگدانه‌های درونی مؤثر است به طوری که ژن mRNA AtC₁H₁ به عنوان الفاء‌کننده پیری و تخریب کلروفیل (با سنتز آنزیم کلروفیل‌از) در گیاهان باعث افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و تخریب کلروفیل می‌گردد (See *et al.*, 2011). Khalvandi *et al.* (2018) گزارش کردند در نعنای فلفلی مقدار کلروفیل a به طور متفاوتی با کاربرد متیل‌جاسمونات واکنش نشان می‌دهد، به طوری که با کاربرد سطوح پائین متیل‌جاسمونات (۷۵ میکرومول)، میزان آن به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، اما در سطوح بالاتر، اثر آن بر میزان کلروفیل a نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. همچنین کاهش در میزان کلروفیل با افزایش غلظت متیل‌جاسمونات به علت بالا رفتن سطح هورمون اسیدآبسیزیک برگ و در نهایت کاهش آنزیم روبیسکو و کلروفیل است که موجب اختلال در عملکرد فتوسنتز می‌شود (Saffari *et al.*, 2012). در پژوهش حاضر، کاهش در کلروفیل با تیمار متیل‌جاسمونات در تطابق با نتایج Jung (2004) و He *et al.* (2002) می‌باشد که گزارش کردند از دست رفتن کلروفیل تحریک شده با متیل‌جاسمونات می‌تواند به پیری برگ ایجاد شده با این ماده نسبت داده شود که در نتیجه انرژی مورد نیاز پدیده‌های سازنده^۲ مانند فتوسنتز کاهش می‌یابد.

در پژوهشی Yingbin *et al.* (2016) گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک اثرات مختلفی بر پیری تحریک شده توسط متیل‌جاسمونات داشته است که بستگی به غلظت‌های به کار رفته دارد و از دست دادن

1. *Syngonium podophyllum*
2. Anabolic

برعهده دارد (Baba Rabi *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد کاهش آنزیم کاتالاز به علت افزایش پراکسید هیدروژن در پراکسی زوم‌ها به عنوان پیام اولیه جهت فعال نمودن سیستم آنتی‌اکسیدانی کل در گیاه می‌باشد (Soares *et al.*, 2010) که باعث ایجاد حفاظت در برابر گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن تولید شده در داخل سلول‌ها می‌شود (Kim *et al.*, 2004). نشان داده شده است که آنزیم کاتالاز در بافت‌های گیاهی در تنظیم پراکسید هیدروژن دخالت دارد، بنابراین از تجزیه سلول‌ها جلوگیری می‌نماید (Bolwell & Wojtaszek, 1997).

در پژوهشی، Alaey *et al.* (2011) گزارش کردند که گل‌های رز شاخه بریده تیمار شده با اسیدسالیسیلیک، جذب آب و وزن تر نسبی بالا و فعالیت زیاد آنزیم کاتالاز را نشان داده و اسیدسالیسیلیک کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز را در طی پیری گل‌ها به تأخیر می‌اندازد.

معنی‌دار شده‌اند ($p < 0.01$). نتایج جدول ۵ بیانگر اینست که بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در سال اول (۰/۶۲۹ میلی‌مول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول متیل‌جاسمونات و بیشترین میزان آن در سال دوم (۱/۲۴ میلی‌مول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۵۰ میکرومول متیل‌جاسمونات به دست آمده است.

آنزیم کاتالاز حاوی یک هم‌ترامریک موجود در همه جا بوده که دو مولکول پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند (Ho *et al.*, 2020) و در میتوکندری‌ها، پراکسی‌زوم‌ها و گلی‌اکسی‌زوم‌های گیاهی وجود داشته و نقش تجزیه پراکسید هیدروژن تولید شده طی تنفس نوری در پراکسی‌زوم‌ها یا پراکسید هیدروژن تولید شده طی واکنش بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب در گلی‌اکسی‌زوم‌ها را

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و متیل‌جاسمونات و سال بر صفات مورفوفیزیولوژیکی سرخارگل در دو سال آزمایش.

Table 5. Mean comparison interaction effect of salicylic acid and methyl jasmonate and year on morphophysiological traits of purple cone flower (*Echinacea purpurea*) in two years.

Treatments		Chl. a (mg g ⁻¹ FW)		Chl. b (mg g ⁻¹ FW)		Total Chl. (mg g ⁻¹ FW)		Catalase Enzyme (mM H ₂ O ₂ min ⁻¹ Pro)		Peroxidase Enzyme (mM min ⁻¹ mg ⁻¹ Pro)	
Salicylic Acid (mM)	Methyl Jasmonate (μM)	Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2
		0	0	6.67 e	6.23 de	1.59e	1.21 h	4.32 c	3.41 e	0.350 b-e	0.670 def
	50	6.86 de	6.00 e	1.68 de	1.30 h	4.58 c	3.95 d	0.351 b-e	0.291 g	0.81 de	1.13 cd
	100	7.23 bcd	6.26 de	1.72 cde	1.57 g	4.55 c	4.05 cd	0.330 cde	0.345 g	1.24 b-e	1.31 cd
	200	7.30 bcd	6.24 de	1.77 cd	1.74 ef	4.75 bc	4.38 bcd	0.257 de	0.580 ef	0.451 e	2.19 ab
	0	7.39 bc	7.38 b	1.83 cd	1.77 def	4.74 bc	4.73 b	0.344 b-e	0.284 g	1.39 a-d	1.89 a-d
	50	7.26 bcd	7.55 b	1.81 cd	1.77 def	4.37 c	4.48 bc	0.268 de	0.739 cde	1.97 ab	2.190 ab
	100	7.17 bcd	6.63 cd	1.83 cd	1.86 cde	4.67 bc	4.38 bcd	0.258 de	0.934 bc	1.90 ab	1.37 bcd
	200	7.08 bcde	7.17 b	1.81 cd	1.99 bc	5.33 a	4.54 bc	0.205 e	0.651 def	0.94 cde	2.39 a
	0	7 cde	7.51 b	1.83 cd	1.91 bcd	4.51 c	4.67 b	0.196 e	0.471 fg	0.77 de	1.35 bcd
	50	8.19 a	7.25 b	2.04 a	1.99 bc	5.28 a	5.31 a	0.446 a-d	1.24 a	1.45 a-d	1.90 a-d
	100	7.26 bcd	8.12 a	2.01 ab	2.28 a	5.15 ab	4.64 b	0.629 a	1.06 ab	1.77 abc	2.57 a
	200	7.35 bc	6.61 cd	1.88 bc	2.05 b	4.52 c	4.37 bcd	0.193 e	0.988 b	2.24 a	1.75 a-d
	0	6.21 f	5.28 f	1.74 de	1.64 fg	4.34 c	4.40 bcd	0.41 a-e	0.350 g	2.12 a	1.16 cd
	50	6.48 b	6.36 cde	1.83 cd	1.54 g	4.79 bc	4.38 bcd	0.400 b-e	0.720 cde	1.46 a-d	1.97 abc
	100	7.28 bcd	6.72 c	1.70 de	1.68 fg	4.61 c	4.50 bc	0.569 ab	0.457 fg	1.25 b-e	1.53 bcd
	200	7.46 bc	7.40 bc	1.80 cd	1.36 h	4.76 bc	4.60 b	0.535 abc	0.866 bcd	0.98 cde	1.06 d

میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with same letters are not significantly different from each other ($P < 0.05$).

فیزیولوژیک از جمله رشد، تشکیل سلول، رشد میوه، بیوسنتز اتیلن و همچنین پاسخ به استرس‌های گوناگون همراه می‌باشد (Matamoros *et al.*, 2003) و آنزیمی است که در گیاهان نقش‌های مهمی در افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تحریک برخی از سیستم‌های مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده ایفا می‌کند (Asghari & Hasanloo, 2015) و ممکن است در طی رشد به طور کمی و کیفی تغییر نماید (Shannon, 1969).

در پژوهشی، Cag *et al.* (2009) گزارش کردند فعالیت آنزیم پراکسیداز با کاربرد خارجی اسیدسالیسیلیک افزایش می‌یابد. Asghari & Hasanloo (2015) نشان دادند که متیل‌جاسمونات نه تنها محتوای کل آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت‌فرنگی را افزایش می‌دهد، بلکه فعالیت آنزیم پراکسیداز را به عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدان و دفاعی نیز افزایش می‌دهد.

Hare & Walling (2006) در پژوهشی بیان کردند که متیل‌جاسمونات بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه تاتوره اثری نداشته است، در این راستا نتایج این پژوهش بیانگر این است که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ثابت نبوده و قابل تغییر است و می‌تواند به این دلیل باشد که متیل‌جاسمونات از طریق تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان، به طور مستقیم در از بین بردن رادیکال‌های آزاد نقش داشته و با پاکسازی این گونه‌های فعال و کاهش اثرات تنش، از افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر پراکسیداز جلوگیری می‌کند (Eskandari Zanjani *et al.*, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

شایان ذکر است که نتایج آزمایش‌های مختلف کاربرد متیل‌جاسمونات بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ضد و نقیض بوده و آنچه که می‌تواند این تناقض‌ها را توجیه کند، توجه به زمان مصرف و غلظت‌های این هورمون و نوع گیاه است که گاهی آثار بازدارنده (Maciejewska & Kopcewicz, 2002) و گاهی آثار تحریک‌کننده (Wong *et al.*, 2009) در پی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که غلظت‌های مناسب اسیدسالیسیلیک موجب حفظ

Ataei *et al.* (2013) در تحقیقی بیان کردند کاهش در یکپارچگی غشای گل‌های بریده لیسیاننتوس به وسیله تیمار با اسیدسالیسیلیک کاهش می‌یابد که با افزایش در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گل‌های تیمار شده همراه است. بنابراین منطقی است پیشنهاد شود که اسیدسالیسیلیک نقش تحریک‌کنندگی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشته و همچنین ممکن است به عنوان کاهنده گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن عمل نماید، بنابراین باعث حفظ یکپارچگی غشاء برای مدت طولانی می‌گردد.

با اعمال تیمار متیل‌جاسمونات، میزان پراکسیداسیون غشا افزایش یافته و رادیکال‌های آزاد زیاد می‌شوند و افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز، گیاه را از اثرات مضر آنها محافظت می‌کند (Shabani & Ehsanpour, 2009). همچنین، افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز به علت عملکرد آنتی‌اکسیدانی آن نیز می‌باشد، چون در هنگام تنش، میزان رادیکال‌های آزاد افزایش یافته و گیاهان برای فرار از سمیت رادیکال‌های آزاد، فعالیت این آنزیم را افزایش می‌دهند. به همین جهت در شرایط ایجاد تنش، وجود متیل‌جاسمونات برای افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای بالای آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی برای تحمل گیاه به تنش بسیار مهم است تا آن را از اثرات مضر رادیکال‌های آزاد در امان نگه دارد (Nasibi, 2010).

آنزیم پراکسیداز

طبق نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود که اثر اسیدسالیسیلیک و اثر متقابل اسیدسالیسیلیک در متیل‌جاسمونات بر آنزیم پراکسیداز معنی‌دار شده‌اند ($p < 0.01$). با توجه به نتایج جدول ۵ مشاهده می‌شود که بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز در سال اول (۲/۲۴ میلی‌مول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۲۰۰ میکرومول متیل‌جاسمونات و بیشترین میزان آن در سال دوم (۲/۵۷ میلی‌مول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌مول اسیدسالیسیلیک و ۱۰۰ میکرومول متیل‌جاسمونات به دست آمده است.

آنزیم پراکسیداز با فرآیندهای بیوشیمیایی و

بهبود در این صفات شده و منجر به افزایش در جنبه‌های ظاهری گیاهان از نظر زیبایی شناختی سرخارگل گردیده است. به همین جهت، با توجه به تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر و حاکم بودن شرایط کم بارش در کشور و همچنین به علت وجود مشکلات متعدد در حوزه فضاهای سبز شهری، گیاه سرخارگل می‌تواند به عنوان یکی از گیاهان زینتی- دارویی مهم و دو منظوره برای توسعه کشت در فضاهای سبز با اعمال تیمارهای مناسب الیستورهای اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات با توجه به ارزان بودن قیمت آنها و همچنین اثر بهینه بر بهبود پارامترهای رشدی و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک، مد نظر قرار گیرد.

محتوای نسبی آب گلبرگ‌ها و در نتیجه حفظ شادابی گل‌ها و حفظ ماندگاری بیشتر آنها با تعداد روزهای بیشتر، افزایش در سطح برگ‌ها و در نهایت پرپشت شدن فضاهای سبز کشت شده با گیاهان سرخارگل می‌گردد. همچنین با کاربرد متیل جاسمونات در غلظت مناسب می‌توان به گل‌هایی با شادابی بیشتر و با ماندگاری بالا در تعداد روزهای بیشتری دست یافت. همچنین، با توجه به نتایج حاصله بیشتر صفات مورفوفیزیولوژیک در سال دوم نسبت به سال اول برتری داشتند، لذا با توجه به چندساله بودن گیاهان سرخارگل می‌توان نتیجه گرفت این برتری به جهت اثرات تجمعی و متقابل تیمارهای اسیدسالیسیلیک و متیل جاسمونات می‌باشد که باعث

REFERENCES

1. Abd El-Baky, H.H., Hussein, M.M. & El-Baroty, G.S. (2008). Algal extracts improve antioxidant defense abilities and salt tolerance of wheat plant irrigated with sea water. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 7, 2812-2832.
2. Abdel-Wahed, M.S.A., Amin, A.A. & El-Rashad, S.M. (2006). Physiological effect of some bioregulators on vegetative growth, yield and chemical constituents of yellow maize plants. *World Journal of Agriculture Science*, 2(2), 149-155.
3. Alaey, M., Babalar, M., Naderi, R. & Kafı, M. (2011). Effect of pre and postharvest salicylic acid treatment on physio-chemical attributes in relation to vase life of rose cut flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 61, 91-94.
4. Ali, M.B., Hahn, E.J., Paek, K.Y. (2007). Methyl jasmonate and salicylic acid induced oxidative stress and accumulation of phenolics in *Panax ginseng* bioreactor root suspension culture. *Molecules*, 12, 607-621.
5. Ali, M.B., Yu, K.W., Hahn, E.J. & Paek, K.Y. (2006). Methyl jasmonate and salicylic acid elicitation induces ginsenosides accumulation, enzymatic and non-enzymatic antioxidant in suspension culture *Panax ginseng* roots in bioreactors. *Plant Cell Reports*, 25, 613-620.
6. Alscher, R.G., Erturk, N. & Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1331-1341.
7. Asgari, M. & Ladan Moghdam, A.R. (2015). Comparison of different salicylic acid application ways as a preservative on postharvest life of gerbera cut flowers. *Agricultural Communications*, 3(4), 1-8.
8. Asghari, M. & Hasanloo, A.R. (2015). Interaction effects of salicylic acid and methyl jasmonate on total antioxidant content, catalase and peroxidase enzymes activity in "Sabrosa" strawberry fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 197, 490-495.
9. Ataei, N., Moradi, H. & Akbarpoor, V. (2013). Growth parameters and photosynthetic pigments of marigold under stress induced by jasmonic acid. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(4), 513-517.
10. Baba Rabi, M., Zarei, H., Eskandari, A. & Badeli, S. (2018). The effect of foliar application of salicylic acid and thiamine on some physiological and biochemical traits of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) in soil and soilless cultivation systems. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 9 (4), 53-69. (In Farsi).
11. Barahuyi -Nikju, M. (2017). Effect of salicylic acid and drought stress on crop yield. *Chemistry Research Journal*, 2(2), 125-132.
12. Bergmeyer, H.U. (1970). Methoden der enzymatischen analyse. Akademik Verlag, Berlin, 1, 636-647.
13. Bidabadi, S.S., Mahmood, M., Baninasab, B. & Ghobadi, C. (2012). Influence of salicylic acid on morphological and physiological responses of banana (*Musa cuminata* cv. 'Berangan') shoot tips invitro water stress induced by polyethylene glycol. *Plant Omics Journal*, 5(1), 33-39.
14. Bolwell, G.P. & Wojtaszek, P. (1997). Mechanisms for the generation of reactive oxygen species in plant defence-a broad perspective. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 55, 347-366.

15. Cag, S., Cevahiroz, G., Sarsag, M. & Saglam, N. G. (2009). Effect of salicylic acid on pigment, protein content and peroxidase activity in excised sunflower cotyledons. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2297-2303.
16. Cao, S. & Zheng, Y. (2010). Effect of methyl jasmonate on cell wall modification of loquat fruit in relation to chilling injury after harvest. *Food Chemistry*, 118(3), 641-647.
17. Chavoushi, M., Manoochehri Kalantari, K. & Arvin, M.J. (2019). Effect of salinity stress and exogenously applied methyl jasmonate on growth and physiological traits of two *Carthamus tinctorius* Varieties. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6(1), 39-49.
18. Christelle, M., Blanc, F., Claire, E.L., Besnard, O., Nicole, M. & Baccou, J.C. (2001). Salicylic acid and ethylene pathways are differentially activated in melon cotyledons by active or heat- denatured cellulase from *Trichodenna zongibrachiatup* T. *Plant Physiology*, 127, 334-348.
19. Danaee, E., Mostofi, Y. & Moradi, P. (2011). Effect of GA and BA on postharvest quality and vase life of gerbera (*Gerbera jamesonii*. cv. Good Timing) cut flowers. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 52(2), 140-144.
20. Elsadek, M. A. (2018). Improvement yield and quality of dahlia flowers by exogenous application of gibberellic acid and salicylic acid under sandy soil conditions. *Journal of Plant Production*, 9 (3), 289-297.
21. Eskandari Zanjani, K., Shiranirad, A. H., Moradi Aghdam, A. & Taherkhani, T. (2012). Effect of salicylic acid application in salt stress conditions on physiological and morphological characteristics of artemisia (*Artemisia annua* L.). *Ecophysiology of Crop Plants*, 4(24), 428-415.
22. Ezhilmanthi, K., Singh, V.P., Arora, A. & Sairam, R.K. (2007). Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of *Gladiolus* cut flowers. *Journal of Plant Growth Regulator*, 51, 99-108.
23. Fariman, K.Z., Azizi, M. & Noori, S. (2011). Seed germination and dormancy breaking techniques for *Echinacea purpurea*. *Journal of Environmental Biology*, 5, 7-10.
24. Gharib, F. A. L. (2006). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4,485-492.
25. Gerailoo, S. & Ghasemnezhad, M. (2011). Effect of salicylic acid on antioxidant enzyme activity and petal senescence in 'Yellow Island' cut rose flowers. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 19, 183-193.
26. Hare, J. D. & Walling, L. L. (2006). Constitutive and jasmonate-inducible traits of *Datura wrightii*. *Journal of Chemical Ecology*, 32, 29-45.
27. Hatamzadeh, A., Hatami, M. & Ghasemnezhad, M. (2012). Efficiency of salicylic acid delay petal senescence and extended quality of cut spikes of *Gladiolus grandiflora* cv 'wing's sensation'. *African Journal of Agricultural Research*, 7, 540-545.
28. Hayat, S. & Ahmad, A. (2007). Salicylic acid: a plant hormone. *Springer*, pp, 401.
29. He, Y., Fukushige, H., Hildebrand, D.F. & Gan, S. (2002). Evidence supporting a role of jasmonic acid in arabidopsis leaf senescence. *Plant Physiology*, 128, 876-884.
30. Herzog, V. & Fahimi, H. D. (1973). Determination of the activity of peroxidase. *Analytical Biochemistry*, 55, 554-562.
31. Ho, T.T., Murthy, H.N. & Park, S.Y. (2020). Methyl jasmonate induced oxidative stress and accumulation of secondary metabolites in plant cell and organ cultures. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(716), 1-18.
32. Janoudi, A. & Flore, J.A. (2003). Effects of multiple applications of methyl jasmonate on fruit ripening, leaf gas exchange and vegetative growth in fruit trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78, 793-797.
33. Jung, S. (2004). Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 42, 231-255.
34. Khan, W., Prithviraj, B. & Smith, D.L. (2003). Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, 160, 485-492.
35. Karlidage, H., Yildirim, E. & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, 66, 180-187.
36. Kaya, C., Higgs, D., Ince, F., Amador, B.M., Cakir, A. & Sakar, E. (2003). Ameliorative effects of potassium phosphate on salt-stressed pepper and cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, 26, 807-820.
37. Kazemi, M., Hadavi, E. & Hekmati, J. (2011). Role of salicylic acid in decreases of membrane senescence in cut carnation flowers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7, 1417-1425.
38. Khalvandi, M., Amerian, M. R., Pirdashti, H., Baradaran, M. and Gholami, A. (2018). Effects of methyl jasmonate on some photosynthetic parameters of peppermint (*Mentha piperita*) in saline conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 7(23), 233-248. (In Farsi).

39. Kim, Y.H., Kim, Y.; Cho, E., Kwak, S., Kwon, S., Bae, J. & Huh, G.H. (2004). Alterations in intracellular and extracellular activities of antioxidant enzymes during suspension culture of sweet potato. *Phytochemistry*, 65, 2471-2484.
40. Kirk, J.O.T. & Allen, R.L. (1965). Dependence of chloroplast pigment on actidione. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 21, 523-530.
41. Koppad, S., Babaleshwar, S.B., Dharmatti, P.R. & Math, K. (2017). Influence of salicylic acid on growth and bulb yield of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9), 1732-1737.
42. Larqué-Saavedra, A. & Martin-Méx, R. (2007). *Effects of salicylic acid on bioproductivity of plants*. (pp, 15-23), Springer, Dordrecht.
43. Li, T., Hu, Y., Du, X., Tang, H. & Shen, C. (2014). Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems. *Public Library of Science*, San Francisco, California, 9(10), 1-10.
44. Maciejewska, B. & Kopcewicz, J. (2002). Inhibitory effect of methyl jasmonate on flowering and elongation growth in *Pharbitis nil*. *Journal of Plant Growth Regulators*, 21, 216-223.
45. Mady, M.A. (2014). Inducing cold tolerability in squash (*Cucurbita pepo* L.) plant by using salicylic acid and chelated calcium application. *International Journal of Agricultural Research*, 4, 9- 24.
46. Matamoros, M.A., Clemente, M.R., Sato, S., Asamizu, E., Tabata, S. & Ramos, J. (2003). Molecular analysis of the pathway for the synthesis of thiol tripeptides in the model legume *Lotus japonicas*. *Molecule Plant-Microbe Interaction*, 16, 1039-1046.
47. Nasibi, F. (2010). Effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on oxidative damages induced by drought stress in tomato plant. *Plant Biology*, 9, 36-74.
48. Németh, M., Janda, T., Horváth, E., Páldi, E. & Szalai, G. (2002). Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science*, 162, 569-574.
49. Pacheco, A.C., Cabral, C., Fermino, E.S. & Aleman, C.C. (2013). Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(42), 3158-3163.
50. Parveen, Z. (2017). *Physiological approaches to improve flower quality and corm yield in gladiolus (Gladiolus grandiflorus)*, M.Sc. Thesis, Indira Gandhi Krishi Vishwavidhyalaya, Raipur, India.
51. Prathapa Reddy, M., Kavya, B., Rama Rao, V., Shantha, T.R., Kishore Kumar, R. & Rahmathulla, V. G. (2015). Therapeutic uses of flowers leads from traditional system of medicine. *International Journal of Herbal Medicine*, 3(3), 12-20.
52. Rivas-San Vicente, M. & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62, 3321-3338.
53. Saffari, G., Allahdadi, A. & Arvin, S.M.J. (2012). Effect of some growth regulators on seed germination characters and seedling primary growth of canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 2, 185-192. (In Farsi).
1. Saisavoey, T., Thongchul, N., Sangvanich, P. & Karnchanatat, A. (2014). Effect of methyl jasmonate on isoflavonoid accumulation and antioxidant enzymes in *Pueraria mirifica* cell suspension culture. *Journal of Medicinal Plant Research*, 8(9), 401-407.
54. Salimi, F., Shekari, F., Azimi, M. R. & Zangani, A. (2011). The role of methyl jasmonate in improving salinity resistance through effect on some physiological characteristics of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Research on Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 27, 711-700.
55. Scott, M.I., Thaler, S.J. & Scott, G.F. (2010). Response of a generalist herbivore *Trichoplusia ni* to jasmonate mediated induced defense in tomato. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 490-499.
56. See, K. S., Bhatt, A. & Keng, C. L. (2011). Effect of sucrose and methyl jasmonate on biomass and anthocyanin production in cell suspension culture of *Melastoma malabathricum* (Melastomaceae). *Review of Biological Trop*, 59 (2), 597-606.
57. Sewedan, E., Osman, A.R & Moubarak, M. (2018). Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on the production of *Gladiolus grandifloras* L. *Nature and Science*, 6(16).
58. Shabani, L. & Ehsanpour, A.A. (2009). Induction of antioxidant enzymes, phenolic and flavonoid compounds in in vitro culture of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) using methyl jasmonate and salicylic acid. *Iranian Journal of Plant Biology*, 21(3), 421-32. (In Farsi).
59. Shannon, L.M. (1969). Plant isoenzymes. *Annual Review of Biochemistry*, 38, 189-210.
60. Sharma, G., Alka, D. & Kumar, M. (2014). Medico-ethnobotany of plants surveyed and studied in district bijnor with special emphasis on their medicinal, religious and ornamental significance. *Indian Journal of Applied Research*, 4(6), 40-43.

61. Shetty, S.M., Chandrashekar, A. & Venkatesh, Y.P. (2011). Eggplant polyphenol oxidase multigene family: cloning, phylogeny, expression analyses and immunolocalization in response to wounding. *Phytochemistry*, 72(18), 2275–2287.
62. Singh, A. & Dwivedi, P. (2018). Methyl-jasmonate and salicylic acid as potent elicitors for secondary metabolite production in medicinal plants. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 750-757.
63. Soares, A.M.S., Souza, T.F., Jacinto, T. & Machado, O.L.T. (2010). Effect of methyl jasmonate on antioxidative enzyme activities and on the contents of ROS and H₂O₂ in *Ricinus communis* leaves. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22, 151-158.
64. Szepesi, Á., Csiszár, J., Bajkán, S., Gémes, K., Horváth, F., Erdei, L., Deér, A.K., Simon, M.L. & Tari, I. (2005). Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 49, 123-125.
65. Umebese, C.E., Olatimilehin, T.O. & Ogunsusi, T.A. (2009). Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(3), 224-229.
66. Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Ismail, A. & Close, T. (2007). Large-scale expression profiling and physiological characterization of jasmonic acid-mediated adaptation of barley to salinity stress. *Journal of Plant, Cell and Environment*, 4, 410-421.
67. Wang, S. Y. (1999). Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. *Journal of Plant Growth Regulation*, 18, 127-134.
68. Wartidiningsih, N. & Geneve, R.L. (1994a). Seed source and quality influence germination in purple coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench.]. *HortScience*, 29 (12), 1443-1444.
69. Wong, C.E., Singh, M. B. & Bhalla, P.L. (2009). Floral initiation process at the soybean shoot apical meristem may involve multiple hormonal pathways. *Plant Signal and Behavior*, 7, 648-651.
70. Yingbin, J., Jian, I., Xing, L. & Xing, D. (2016). Low concentrations of salicylic acid delay methyl jasmonate-induced leaf senescence by upregulating nitric oxide synthase activity. *Journal of Experimental Botany*, 67(17), 5233-5245.
71. Youssef, S.M.S., El-Hady, S.A., Abu El-Azm, N.A.I. & El-Shinawy, M.Z. (2017). Foliar application of salicylic acid and calcium chloride enhances growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*). *Egyptian Journal of Horticulture*, 44(1), 1-16.
72. Zaidi, H.S. (2015). *Salicylic acid induced adaptive response of sunflower (Helianthus annuus L.) to drought stress*, PhD Thesis in Botany. Arid Agriculture University Rawalpindi, Pakistan.
73. Zeb, A., Ullah, F., Gul, S.L., Khan, M., Zainub, B., Khan, M.N. & Amin, N. (2017). Influence of salicylic acid on growth and flowering of zinnia cultivars. *Science International*, 29(6), 1329-1335.