Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 3, Page 431-442 (2025)

DOI:10.22092/ijmapr.2025.367146.3479

Effects of salinity and salicylic acid on growth characteristics and photosynthetic pigments of *Calendula officinalis* L.

Sanaz Rajabi-khamseh[1*], Mahmoud Bahador[2], Hosein Safikhani Mahmoudzadeh[3] and Habiballah Yousefian[4]

1*- Corresponding Author, PhD graduate, Department of Crop Physiology, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, E-mail: rajabi_sanaz64@yahoo.com
2- Sugar Beet Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Shiraz, Iran.
3- MSc graduate, Department of Agronomy, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Ahvaz, Iran.
4- PhD graduate, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Received: October 2024 Revised: June 2025 Accepted: July 2025

Abstract

Background and Objectives: Marigold (Calendula officinalis L.) is a medicinal and ornamental herbaceous plant belonging to the Asteraceae family. Since ancient times, it has been valued for its leaves, roots, flowers, and seeds, owing to the presence of bioactive compounds such as flavonoids, carotenoids, steroids, terpenoids, phenolic acids, mucilages, and vitamin E. Salinity stress is among the most critical factors limiting plant production, particularly in arid and semi-arid regions. The present study aimed to evaluate the effect of foliar application of salicylic acid on the growth characteristics and photosynthetic pigment content of marigold under saline conditions.

Methodology: This experiment was conducted as a factorial arrangement within a completely randomized design, with three replications, in pots at the research greenhouse of the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari. The treatments included salinity (sodium chloride) at five levels (0, 50, 100, 150, and 200 millimolar) as the first factor, and foliar application of salicylic acid at three levels (0, 1, and 2 millimolar) as the second factor. Planting was carried out on December 1, 2013, in pots measuring 25 cm × 25 cm, each containing four plants and irrigated with 200 milliliters every two days. Distilled water was used for the zero-millimolar treatment. Salinity stress was initiated at the four-leaf stage. Foliar application of salicylic acid was performed twice during the four-leaf stage. To facilitate acclimatization, the pots were placed outdoors before the experiment. Harvesting was conducted on February 28 at the full flowering stage. After harvest, measurements included plant height, the number of flowers, the dry weight of flowers, the dry weight of aerial parts, photosynthetic pigments, the relative water content of leaves, and electrolyte leakage. Data analysis was performed using SAS software.

Results: The results indicated that foliar application of salicylic acid significantly improved plant height, dry weight of shoots, number of flowers, dry weight of flowers, chlorophyll a and b content, carotenoid levels, relative leaf water content, and electrolyte leakage. The highest values for these traits (excluding electrolyte leakage) were obtained with one mM salicylic acid

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

treatment under control (0 mM) salinity. The lowest values were recorded in 0 mM salicylic acid and 200 mM salinity treatment, showing reductions of 193.3% in plant height, 70.8% in shoot dry weight, 332% in number of flowers, 430% in flower dry weight, 186.7% in chlorophyll a, 216.7% in chlorophyll b, 185.7% in carotenoids, and 215.9% in relative leaf water content compared to 1 mM salicylic acid treatment at zero salinity. The lowest electrolyte leakage occurred in treatments with 1 and 2 mM salicylic acid and irrigation with distilled water, representing a 481.5% reduction compared with the non-sprayed treatment at 200 mM salinity.

Conclusion: In general, foliar application of salicylic acid partially alleviated the adverse effects of salinity and had a significant positive influence on the evaluated traits up to a salinity level of 100 mM. Among the salicylic acid treatments, the one mM concentration exerted the highest effect in reducing stress impact, producing the highest values for the measured traits.

Keywords: growth regulator, chicory, chlorophyll, medicinal plants.

تأثیر تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات رشدی و محتویات رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه همیشه‌بهار

ساناز رجبی خمسه[۱*]، محمود بهادر[۲]، حسین صفی‌خانی محمودزاده[۳] و حبیب‌اله یوسفیان[۴]

۱*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، پست‌الکترونیک: rajabi_sanaz64@yahoo.com

۲- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۳ تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۴

چکیده

سابقه و هدف: گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهی دارویی و زینتی و متعلق به خانواده کاسنی بوده و از زمان‌های گذشته تاکنون از برگ، ریشه، گل و بذر آن (به دلیل داشتن ترکیبات مؤثره شامل فلاونوییدها، کاروتنوئیدها، استروئیدها، ترپنوئیدها، فنولیک‌اسیدها، موسیلاژها و ویتامین E) مورد استفاده قرار می‌گرفته است. تنش شوری یکی از عوامل مهم کاهش تولید گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسید اسید سالیسیلیک بر خصوصیات رشدی و محتویات رنگیزه‌های فتوسنتزی همیشه‌بهار در شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل شوری (کلرید سدیم) در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به عنوان فاکتور اول و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سه سطح صفر، یک و دو میلی‌مولار به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ دهم آذرماه سال ۱۳۹۲ در گلدان‌هایی به ابعاد ۲۵ cm× ۲۵ cm انجام شد. هر گلدان دارای چهار بوته و به‌صورت دو روز یکبار به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر آبیاری می‌شدند. برای تیمار صفر میلی‌مولار از آب مقطر استفاده شد. اعمال تنش شوری از مرحله چهار برگی آغاز شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در دو مرحله در زمان چهار برگی گیاه انجام گردید. برای عمل بهاره‌سازی، گلدان‌ها در خارج از گلخانه قرار گرفتند. برداشت در دهم اسفندماه، در مرحله گلدهی کامل انجام شد. پس از برداشت گیاهان، ارتفاع، تعدادگل، وزن خشک گل، وزن خشک اندام هوایی، مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ و میزان نشت الکترولیت اندازه‌گیری شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از این بررسی از نرم‌افزار SAS استفاده گردید.

نتایج: نتایج نشان داد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌دار مثبتی بر ارتفاع، وزن خشک بوته، تعداد گل، وزن خشک گل، مقادیر کلروفیل‌های a، b، کاروتنوئیدها، محتوای رطوبت نسبی برگ و میزان نشت الکترولیت‌ها داشت. بیشترین مقادیر این صفات (بجز میزان نشت الکترولیت‌ها) در تیمار محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و شوری شاهد حاصل شد. کمترین آنها مربوط به تیمار صفر میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بود، به‌طوری‌که در این تیمار کاهش ۱۹۳/۳٪ ارتفاع، ۷۰/۸٪ وزن خشک بوته، ۳۳۲٪ تعداد گل، ۴۳۰٪ وزن خشک گل، ۱۸۶/۷٪ مقدار کلروفیل a، ۲۱۶/۷٪ مقدار کلروفیل b، ۱۸۵/۷٪ مقدار کاروتنوئیدها و ۲۱۵/۹٪ محتوای رطوبت نسبی برگ نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی یک میلی‌مولار در شوری صفر وجود داشت. کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها متعلق به تیمارهای یک و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و آبیاری با آب مقطر بود که از کاهش ۴۸۱/۵٪ نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی و سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار برخوردار بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک اثرهای شوری را تا حدودی خنثی کرد و تا سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تأثیر قابل قبولی بر صفات مورد بررسی داشت. از بین تیمارهای اسید سالیسیلیک در بیشتر صفات مورد بررسی، محلول‌پاشی یک

میلی‌مولار بیشترین تأثیر را در بهبود اثرهای تنش داشت، به‌گونه‌ای که بیشترین مقادیر در صفات مورد بررسی متعلق به این تیمار بود.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده رشد، کاسنی، کلروفیل، گیاهان دارویی.

مقدمه

گیاه همیشه‌بهار، گیاهیست یکساله با گل‌های مرواریدی روشن، زرد یا نارنجی که علاوه بر خصوصیات دارویی و غذایی، دارای جنبه‌های زینتی نیز می‌باشد (Khalida & Teixeira, 2010). گل این گیاه به عنوان طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده غذاهای مختلف، تهیه رنگ‌های نقاشی، نایلون صنعتی، تهیه انواع کرم‌ها و لوسیون‌ها کاربرد دارد (Verma *et al*., 2018). گل‌های همیشه‌بهار همچنین به عنوان معرق، قاعده‌آور، التیام‌دهنده زخم‌های پوستی و ضد التهاب، نیرودهنده، ضد تشنج و رفع کننده قی نیز استفاده می‌شود (Sapkota & Kunwar, 2024). مهمترین مواد مؤثره درمانی گل همیشه‌بهار فلاونوئیدها و کاروتنوئید می‌باشد (Szopa *et al*., 2020; Islam & Kunwar, 2014).

هر ساله شوری و کم‌آبی، صدمات فراوانی به تولیدات گیاهی در سراسر دنیا وارد می‌کند. ازجمله دلایلی که می‌توان در زمینه ایجاد شوری بالا و بوجود آمدن آن در خاک اشاره کرد، تبخیر زیاد آب از سطح خاک و استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین و شوری بالا می‌باشد (Muhammad *et al*., 2023). مهمترین واکنش گیاه به افزایش شوری خاک، کاهش آهنگ رشد است. در خاک‌های شور، ابتدا رشد رویشی گیاه و توسعه برگ‌ها متأثر می‌شوند (Arif *et al*., 2020). بنابراین وجود مقادیر زیاد نمک در محیط ریشه یک محدودیت جدی برای تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. آثار تخریبی تنش شوری بر گیاهان به علت کاهش ظرفیت اسمزی محلول خاک (تنش آبی) و عدم تعادل مواد غذایی و آثار یون‌های ویژه (تنش شوری) است. شوری متابولیسم گیاه و تقسیم سلولی را کاهش داده، در نتیجه از رشد طبیعی جلوگیری می‌کند (Shakirova *et al*, 2003). در تنش شوری فعالیت فتوسنتزی گیاه از یکسو به علت دهیدراته شدن غشای سلولی، نفوذپذیری CO_2 را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر به علت ورود یون‌های Na^+ به سلول که به غیر فعال شدن سیستم‌های انتقال الکترون در فتوسنتز منجر می‌شود، باعث کاهش فرایند فتوسنتز در گیاه می‌گردد (Zhao *et al*., 2020). در شرایط تنش، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و اثرهای سمی آنها موجب تخریب بافت‌های گیاهی می‌گردد. آنتی‌اکسیدان‌ها موجب خنثی شدن رادیکال‌های آزاد و محافظت سلول‌های گیاهی در مقابل آسیب‌دیدگی‌های حاصل از تنش‌ها می‌گردند (Emami Bisteghani & Bakhshandeh, 2021). به نظر می‌رسد که گیاهان با سازوکارهای پیچیده‌ای که در آنها بیان بسیاری از ژن‌ها و سازوکارهای فیزیولوژیک دخالت دارند به تنش پاسخ می‌دهند (Parida & Das, 2005). راهکارهای بیوشیمیایی گیاهان در برابر تنش‌ها شامل انباشت انتخابی یا دفع یون‌ها، تنظیم جذب یون توسط ریشه و انتقال به برگ‌ها، تجمع یون‌ها در سلول‌ها، سنتز محلول‌های سازگار، تغییر در ساختار غشاها، القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و القای هورمون‌های گیاهی می‌باشد.

یکی از محرک‌های زیستی خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد، اسید سالیسیلیک است که دارای اثرهای متنوع فیزیولوژیکی در رشد و نمو گیاهان می‌باشد (Li *et al*., 2022). اسید سالیسیلیک در گروه تنظیم‌کنندگان رشد گیاهی دسته‌بندی می‌شود. اسید سالیسیلیک یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک‌اسید، یک تنظیم‌کننده رشد درونی از گروه ترکیبات فنولی طبیعی می‌باشد که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد. القای گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن و تأثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها، تنفس و مقاومت به تنش‌های محیطی از نقش‌های مهم این تنظیم‌کننده گیاهی می‌باشد (Wani *et al*., 2017؛ Maruri-López *et al*., 2019؛ Mohamed *et al*., 2020؛ Alam *et al*., 2022). در بررسی‌های Naeem و همکاران

(۲۰۲۰) در گیاهان گوجه‌فرنگی، اسید سالیسیلیک سبب افزایش مقاومت به شوری گردید. افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی مختلف ازجمله گرما (Munir & Shabbir, 2018)، شوری (Tahjib-Ul-Arif *et al*., 2018) و سرما (Dong *et al*., 2014) تحت کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک گزارش شده است. به‌طورکلی اسید سالیسیلیک در گیاهان اثرهای کلیدی فراوانی ازجمله تأثیر در جذب عناصر غذایی، پایداری غشاهای سلولی، عملکرد روزنه‌ها، بازدارندگی سنتز اتیلن، تجمع پرولین و افزایش رشد دارد (Shakirova *et al*., 2003؛ Koo *et al*., 2020; Liu *et al*., 2022). به هر حال، قسمت اعظم شواهد علمی پیشنهاد می‌کند که این ماده نقش کلیدی در ایجاد مقاومت و سازگاری گیاهان داشته و قادر است توان آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش دهد. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری بر اندام‌های رویشی، مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ در گیاه دارویی همیشه‌بهار انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در محل گلخانه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی ساری اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شوری با استفاده از کلرید سدیم در پنج سطح ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار و فاکتور دوم محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در سه سطح ۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار بود. خاک هر گلدان حاوی ۶۰ درصد خاک مزرعه، ۲۰ درصد کود گاوی پوسیده و ۲۰ درصد پیت‌ماس بود. تعداد ۴۵ گلدان بزرگ با ابعاد ۲۵ سانتی‌متر قطر، ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع و ۱۲۲۰۲/۵ سانتی‌متر مکعب حجم برای آزمایش استفاده شد. در هر گلدان چهار بوته با فاصله یکنواخت در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ دهم آذرماه و برداشت نیز در دهم اسفندماه سال ۱۳۹۲ در مرحله گلدهی کامل انجام گردید. به منظور انجام عمل بهاره‌سازی، گلدان‌ها در محیط خارج از گلخانه قرار گرفتند. آبیاری گلدان‌ها هر دو روز یکبار (به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر در هر گلدان) انجام شد. برای تیمار صفر میلی‌مولار نیز آبیاری با آب مقطر انجام شد. اعمال تنش شوری پس از استقرار کامل بوته‌ها در مرحله چهار برگی آغاز گردید. همزمان با اعمال تنش شوری، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به میزان ۳۰ میلی‌لیتر در هر گلدان و در دو مرحله انجام گردید.

پس از برداشت بوته‌ها، طول هر ساقه با خط‌کش برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. گل‌های هر بوته پس از جداسازی شمارش شده و به آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت منتقل شدند. اندام هوایی هر بوته نیز به صورت جدا از گل به آون منتقل شد. وزن خشک گل و بوته نیز برحسب گرم در هر بوته گزارش گردید. برای اندازه‌گیری مقادیر رنگدانه‌های گیاهی (کلروفیل و کاروتنوئیدها) از روش Arnon (۱۹۴۹) استفاده شد. بدین‌منظور، ابتدا ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ‌های جوان گیاه قبل از برداشت بوته‌ها توزین و با استون ۸۰ درصد در هاون چینی روی یخ و به دور از نور مستقیم آفتاب ساییده شدند. مخلوط به دست آمده با کمک کاغذ صافی درون بالن ژوژه صاف و حجم عصاره به دست آمده با استون ۸۰ درصد به ده میلی‌لیتر رسانده شد. سپس، جذب محلول‌ها با اسپکتروفتومتر طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر ثبت گردید. مقدار کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم در گرم بافت گیاهی محاسبه شد. به منظور سنجش میزان آسیب به غشا (EL: electrolyte leakage)، میزان نشت یونی توسط روش Ben Hamed و همکاران (۲۰۰۷) محاسبه گردید. ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه قبل از برداشت بوته‌ها جدا و پس از شست‌وشو با آب مقطر برای حذف یون‌های احتمالی از سطح گیاه، درون لوله‌های آزمایش درپیچ‌دار قرار گرفتند. سپس لوله‌های آزمایش به مدت دو ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. آنگاه میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_0) با EC متر اندازه‌گیری گردید. لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو و پس از کاهش دمای لوله‌ها تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) دوباره اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول نشت یونی محاسبه شد.

$$CMS = [1 - \left(\frac{EC1}{EC0}\right)] \times 100$$

محتوای آب نسبی برگ (RWC) براساس روش Martin و همکاران (۲۰۰۶) تعیین شد. بدین صورت که قبل از برداشت بوته‌ها، ابتدا سه برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته از هر بوته انتخاب و پس از اتیکت‌گذاری توسط یخچال صحرایی به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس از قسمت میانی پهنک برگ دیسک‌های یکنواخت تهیه و وزن آنها (FW) سریعاً اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد دیسک‌های تهیه شده به مدت ۱۲ ساعت در آب مقطر در شرایط تاریکی و درجه حرارت چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از پایان زمان مورد نظر، دیسک‌های برگی از آب مقطر خارج و پس از خشک کردن آب سطحی توسط کاغذ خشک‌کن، دوباره توزین شدند (SW). در مرحله آخر نیز دیسک‌ها در آون در درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آنها ثبت شد (DW). با استفاده از رابطه زیر محتوای آب نسبی تعیین گردید.

$$RWC = \frac{DW - FW}{DW - SW} \times 100$$

تحلیل داده‌ها

داده‌های بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه‌وتحلیل گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج

براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

بالاترین ارتفاع در سطح شوری صفر میلی‌مولار همراه با تیمارهای صفر، یک و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد. کمترین ارتفاع نیز متعلق به سطح شوری ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار در حالت بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بود (کاهش ۱۹۳/۳ درصدی) (جدول ۲).

بیشترین وزن خشک بوته در تیمار شوری صفر میلی‌مولار با تیمار یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که با تیمار شوری صفر میلی‌مولار و محلولپاشی دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و تیمارهای شوری ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین وزن خشک بوته در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در حالت بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بود (کاهش ۷۰/۸ درصدی) (جدول ۲).

بیشترین تعداد گل در تیمار شوری صفر میلی‌مولار با تیمار یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد. کمترین تعداد گل متعلق به تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و در حالت بدون محلول‌پاشی بود که با تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و حالت بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی دو میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت (کاهش ۳۳۲ درصدی) (جدول ۲). بیشترین وزن خشک گل در سطح شوری صفر میلی‌مولار و تیمارهای یک و دو میلی‌مولار محلول‌پاشی مشاهده شد. کمترین وزن خشک گل در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و حالت بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بود (کاهش ۳۴۱/۷ درصدی) (جدول ۲).

بیشترین مقدار کلروفیل a از تیمارهای شوری صفر و محلول‌پاشی صفر، یک و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار و یک میلی‌مولار محلول‌پاشی حاصل شد. کمترین مقدار نیز در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی صفر و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بدست آمد (کاهش ۱۸۶/۷ درصدی). بیشترین مقدار کلروفیل b متعلق به تیمار شوری صفر و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. کمترین مقدار در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی‌های صفر، یک و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و تیمار شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و در حالت بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید مشاهده شد (کاهش ۲۱۶/۷ درصدی) (جدول ۲). تیمار شوری صفر و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین مقدار کاروتنوئید را نشان داد که با تیمار شوری صفر و محلول‌پاشی دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار متعلق به شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به همراه تیمار بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بود (کاهش ۱۸۵/۷ درصدی) (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر شوری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات گیاه همیشه‌بهار

Table 1.Anova of salinity and salicylic acid effects on some *Calendula officinalis* traits

S.O.V.	d.f.	M.S.								
		Plant height	Number of flowers	Flower dry weight	Plant dry weight	Chlorophyll $_a$	Chlorophyll $_b$	Carotenoids	Relative water content	Electrolyte leakage
Salinity (S)	4	276.8**	80.51**	9**	22.4**	8.9**	1.4**	0.9**	4068.2**	4403.1**
Salicylic acid (A)	2	37**	10.5**	3.6**	40.6**	1.3**	0.3**	0.5**	619.7**	2788**
S*A	8	6.9**	2.7**	1.8**	6.4**	0.3**	0.06**	0.04**	186.4**	132.7**
Experimental error	30	1.3	0.4	0.05	0.5	0.04	0.005	0.01	21.6	10.1
C.V. (%)		7.3	9.8	6.5	5.5	6.7	80.6	7.4	4.6	6

**: significant at 1% probability level

بیشترین درصد رطوبت در تیمار شوری صفر میلی‌مولار همراه با محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که با تیمار بدون شوری و محلول‌پاشی دو میلی‌مولار و تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار در محلول‌پاشی‌های یک و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین محتوای آب برگ متعلق به تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به همراه تیمار فاقد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بود که با تیمارهای شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی یک و دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری نداشت (کاهش ۲۱۵/۹ درصدی) (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرمتقابل شوری × اسید اسید سالیسیلیک بر برخی صفات گیاه همیشه‌بهار

Table2. Means comparison of salinity × salicylic acid interaction on some *Calendula officinalis* traits

Trait	Salicylic acid (mM)	Salinity (mM)				
		0	50	100	150	200
Plant height	0	21.7^{a}	18.7^{bc}	14^{d}	8.5^{f}	7.5^{f}
	1	22^{a}	20.6^{b}	17^{c}	14.5^{d}	10.8^{e}
	2	21.3^{a}	19.2^{bc}	18^{bc}	10.7^{e}	9.1^{ef}
Plant dry weight	0	13.3^{d}	13.2^{d}	8.7^{g}	9.7f^{g}	8.9^{g}
	1	15.2^{a}	14.5^{ac}	13.9^{bd}	14.9^{ab}	11.3^{e}
	2	14.2^{ad}	13.6^{cd}	14.2^{bc}	11.4^{e}	10.6^{ef}
Number of flowers	0	7.7^{cd}	8.7^{bc}	3.6f^{g}	4.7^{f}	2.5^{g}
	1	10.8^{a}	7.7^{cd}	6^{e}	5^{f}	4.2^{f}
	2	9.5^{b}	8.5^{b}	6.5^{b}	4.7^{f}	3.7^{fg}
Flower dry weight	0	3.1^{e}	4.8^{b}	2.4^{g}	3.1^{e}	1.2^{h}
	1	5.3^{a}	4.6^{b}	2.6^{fg}	3.5^{d}	2.5^{fg}
	2	5.3^{a}	3.8^{cd}	4^{c}	2.8^{ef}	2.9^{ef}
Chlorophyll $_a$	0	۴.۳^{a}	3.1^{c}	2.1^{e}	2.6^{d}	1.5^{f}
	1	4.3^{a}	4.3^{a}	2.6^{d}	3.2^{c}	2^{e}
	2	4.3^{a}	3.7^{b}	3.1^{c}	2.5^{d}	1.5^{f}
Chlorophyll $_b$	0	1.3^{c}	1.1^{de}	0.6^{h}	0.8^{g}	0.6^{h}
	1	1.9^{a}	1.5^{b}	1^{ef}	0.8^{g}	0.6^{h}
	2	1.6^{b}	1.2^{cd}	1.1^{e}	0.9^{f}	0.6^{h}
Carotenoids	0	1.6^{c}	1.6^{bc}	1.2^{ef}	1.3^{de}	0.7^{g}
	1	2^{a}	1.7^{b}	1.7^{b}	1.6^{bc}	1.2^{df}
	2	1.9^{a}	1.6^{bc}	1.2^{ef}	1.4^{d}	1.1^{f}
Relative water content	0	85.1^{bd}	78^{df}	72.3^{f}	50.2^{h}	30.1^{j}
	1	95.1^{a}	93.8^{a}	80.3^{de}	61^{g}	31.2^{ij}
	2	88.7^{ac}	91.5^{ab}	73^{ef}	69.7^{g}	31.3^{ij}
Electrolyte leakage	0	22.7^{h}	62.7^{c}	78^{b}	86.3^{a}	91.3^{a}
	1	19^{hi}	36^{g}	49^{ef}	55^{d}	75^{b}
	2	15.7^{i}	36.3^{g}	45^{f}	51de	66.3^{c}

In each row, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

کمترین میزان نشت الکترولیت در سطح شوری صفر میلی‌مولار همراه با تیمار محلول‌پاشی دو میلی‌مولار مشاهده شد که با تیمار شوری صفر و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بیشترین مقدار نشت الکترولیت در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و تیمار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد که با تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و تیمار فاقد محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (افزایش ۴۸۱/۵ درصدی) (جدول ۲).

بحث

گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند با مشکلات زیادی مانند اختلال در جذب و انتقال یون‌ها به شاخه‌ها و عدم توزیع متعادل آسیمیلات‌ها مواجه هستند. از عوامل ایجاد شوری در خاک، می‌توان به شوری آب آبیاری اشاره کرد که در نهایت سبب تجمع بیش از حد املاح در خاک و به‌ویژه ریزوسفر ریشه می‌گردد (Gunes *et al.*, 2007).

طبق نتایج حاصل از این بررسی، غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک توانستند اثرهای شوری را تا حدودی تخفیف داده و احتمالاً از طریق تسریع جوانه‌زنی به بهبود رشد گیاهان تحت شرایط تنش منجر شوند. اسید سالیسیلیک می‌تواند اثرهای مخرب تنش را از طریق افزایش محتویات پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها، کاهش نسبت Na^+/K^+ و تعدیل صفات مهمی ازجمله محتوای آب، پایداری غشایی و رشد کلی گیاه سبب شود (Apon *et al.*, 2023). از سویی، استفاده از اسید سالیسیلیک می‌تواند سبب گسترش سیستم ریشه‌ای (Urban *et al.*, 2022) و متعاقباً جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر به افزایش رشد و ارتفاع گردد. اثرهای مثبت اسید سالیسیلیک بر رشد گیاه و ارتفاع ذرت و گوجه‌فرنگی توسط محققان گزارش شده است (Gharbi *et al.*, 2018؛ Islam *et al.*, 2022).

تنش شوری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و چروکیده شدن سلول‌ها، ناپایداری دیواره سلولی، کاهش سطح و تعداد برگ‌ها و در نهایت کاهش وزن خشک بوته می‌گردد. طبق گزارش‌های محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک از طریق افزایش محتوای نسبی رطوبت برگ (Apon *et al.*, 2023)، منجر به حفظ تورم و حجم برگ شده و باعث رشد و افزایش تعداد سلول‌ها می‌گردد. در گزارشی، تیمار گندم با اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای رطوبت نسبی و وزن خشک بوته گردید (Agarwal *et al.*, 2005). از نقش‌های مهم اسید سالیسیلیک القای گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس می‌باشد (Hayat *et al.*, 2010؛ Zhang & Li, 2019). طبق گزارش‌ها اسید سالیسیلیک از طریق جذب عناصر غذایی، پایداری غشاهای سلولی، افزایش عملکرد روزنه‌ها، بازدارندگی سنتز اتیلن و تجمع پرولین می‌تواند سبب افزایش رشد گردد (Shakirova *et al.*, 2003؛ Koo *et al.*, 2020؛ Liu *et al.*, 2022). در بررسی Bayat و همکاران (۲۰۱۲) نیز محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک موجب افزایش تعداد و وزن خشک گل همیشه‌بهار گردید.

مقدار کلروفیل در گیاهان یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی می‌باشد. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به دلیل فعالیت بیشتر کلروفیلاز (آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل) گزارش شده است. همچنین بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند آبسیزیک‌اسید، اتیلن و هترواکسین موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شوند (Drazkiewicz, 1994). در گزارش Santos (۲۰۰۴)، کاهش غلظت رنگدانه کلروفیل در شرایط تنش شوری، به فعالیت بیشتر کلروفیلاز (آنزیم تجزیه‌کننده کلروفیل) نسبت داده شد. علاوه بر این، کاهش غلظت کلروفیل می‌تواند به دلیل تغییرات متابولیسم نیتروژن (Wen *et al.*, 2019) در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین که در تنظیم اسمزی نقش دارند، نیز باشد (Rosa-Ibara & Maiti, 1995). در بررسی Mahdavian (۲۰۲۳) بر گیاه تربچه، تنش شوری سبب کاهش محتویات کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها گردید، با وجود این کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبود محتویات صفات ذکرشده در شرایط تنش شد. به‌نحوی‌که اثرهای بهبوددهنده کاربرد اسید سالیسیلیک بر رنگدانه‌های

فتوسنتزی در بررسی‌های مختلف گزارش شده است (da Silva *et al*., 2018؛ Arruda *et al*. 2023؛ Hundare *et al*., 2022).

احتمالاً اسید سالیسیلیک از یکسو از طریق فعال شدن سیستم آنتی‌اکسیداتی، سبب تقویت دیواره سلولی و خنثی کردن خطر افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، در مدت زمان مواجه گیاه با تنش گردیده است و از سوی دیگر از طریق افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ (Apon *et al*., 2023)، منجر به حفظ تورم و حجم برگ و کاهش نشت الکترولیت‌ها شده است. Batista و همکاران (۲۰۱۹) و Acevedo و همکاران (۲۰۲۳)، کاهش نشت الکترولیت در بادام هندی را به نقش تعدیل‌کننده اسید سالیسیلیک از طریق کاهش تنش اکسیداتیو و محافظت از غشای سلولی و فعالیت فتوسنتزی بیان کرده‌اند. در گزارش‌ها، کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش میزان نشت یونی غشای سلولی در گیاهان ذرت (Kang & Salveit, 2001)، جو (El-Tayeb, 2005)، گوجه‌فرنگی (Stevens *et al*, 2006)، برنج (Sheteiwy *et al*., 2019)، ذرت (Islam *et al*., 2022) و نیشکر (Apon *et al*., 2023) شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. ممکن است اسید سالیسیلیک با تجمع اسمولیت‌های آلی و غیرآلی، افزایش جذب آب و افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ را سبب شده باشد (Islam *et al*., 2022؛ Deef, 2007). افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش و کاربرد اسید سالیسیلیک در نیشکر (Badil *et al*., 2016)، رزماری (El-Esawi *et al*., 2017)، سویا (Razmi *et al*., 2017)، برنج (Khan *et al*., 2019) و گندم (Singh *et al*., 2021) نیز گزارش شده است.

طبق نتایج حاصل از این تحقیق، گیاه همیشه‌بهار مقاومت خوبی به شوری داشته و شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار (برابر با ۱/۲۵۵ دسی زیمنس بر سانتی‌متر) نتوانست خصوصیات رشدی و رنگیزهای فتوسنتزی گیاه را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. با وجود این، تیمارهای اسید سالیسیلیک توانستند تا حدودی از اثرهای تنش شوری بکاهند. از بین تیمارهای اسید سالیسیلیک در بیشتر صفات مورد بررسی، محلول‌پاشی یک میلی‌مولار بیشترین تأثیر را در بهبود اثرهای تنش داشت، به‌گونه‌ای که بیشترین ارتفاع، تعداد و وزن خشک گل، وزن خشک بوته، مقادیر کلروفیل‌های a، b، و کاروتنوئیدها و محتوای نسبی آب برگ متعلق به این تیمارها بودند. در این بررسی تیمارهای اسید سالیسیلیک احتمالاً از طریق بهبود محتوای آب نسبی برگ، کاهش نشت الکترولیت و همینطور افزایش مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی سبب افزایش تعداد و وزن خشک گل‌ها و وزن خشک برگ‌ها به‌ویژه در شرایط تنش شده‌اند. با توجه به نتایج حاصل از این بررسی و مشکلات شوری در بیشتر زمین‌های کشاورزی کشور، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد ازجمله اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در جهت بهبود رشد گیاهان دارویی- زینتی مانند گل همیشه‌بهار در شرایط تنش پیشنهاد گردد.

References

- Acevedo, A.F.G., Gomes, J.W.d.S., Avilez, A.A., Sarria, S.D., Broetto, F., Vieites, R.L. and Guimarães, M.L.C.S., 2023. Foliar salicylic acid application to mitigate the effect of water deficiency on potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Stress, 7: 100135. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100135
- Agarwal, S., Sairam, R.K., Srivastava, G.C. and Meena, R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biologia Plant, 49: 541-550. https://doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z
- Alam, P., Balawi, T.A. and Faizan, M., 2022. Salicylic acid's impact on growth, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity of *Triticum aestivum* when exposed to salt. Molecules, 28(1): 100. https://doi.org/10.3390/molecules28010100
- Apon, T.A., Ahmed, S.F., Bony, Z.F., Chowdhury, M.R., Asha, J.F. and Biswas, A., 2023. Sett priming with salicylic acid improves salinity tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) during early stages of crop development. Heliyon, 9(5): 1-14. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16030
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. and Hayat,

S., 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 156: 64-77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042
- Arnon, D.L., 1949. A copper enzyme is isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaries*. Plant Physiology, 24: 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1
- Arruda, T.F.D.L., Lima, G.S.D., Silva, A.A.R.D., Azevedo, C.A.V.D., Souza, A.R.D., Soares, L.A.D.A., Gheyi, H.R., Lima, V.L.A.D., Fernandes, P.D., Silva, F.D.A.D. and Dias, M.D.S., 2023. Salicylic acid as a salt stress mitigator on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth of precocious-dwarf cashew in the post-grafting phase. Plants, 12(15): v2783. https://doi.org/10.3390/plants12152783
- Badil, F.C., Barary, M., Shomeili, M. and Tahmasebi, Z., 2016. Alleviation of salinity effects by exogenous applications of salicylic acid in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) seedlings. Iranian Journal of Field Crops Research, 14(3): 449-459. https://jcesc.um.ac.ir/index.php/arable/article/view/44051
- Batista, V.C.V., Pereira, I.M.C., Paulo-Marinho, S.d.O., Canuto, K.M., Pereira, R.d.C.A., Rodrigues, T.H.S., Daloso, D.d.M., Gomes Filho, E. and de Carvalho, H.H., 2019. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. Environmental and Experimental Botany, 167: 103870. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103870
- Bayat H., Alirezaie, M. and Neamati, H., 2012. Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8(1): 258-267. http://www.jspb.ru/issues/2012/N1/JSPB_2012_1_258-267.pdf
- Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C., 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation, 53: 185-194. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9217-8
- da Silva, A.F., Sousa, V.F.D.O., dos Santos, G.L., Júnior, E.S.A., da Silva, S.L., de Macedo, C.E., de Melo, A.S. and Maia, J.M., 2018. Antioxidant protection of photosynthesis in two cashew progenies under salt stress. Journal of Agricultural Science, 10(10): 388-404. https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p388
- Deef, H.E., 2007. Influence of salicylic acid on stress Tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. Advances in Biological Research, 1(1-2): 40-48. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2f68f82fe25fc45075de1330dae82519cc0514c8
- Dong, C.J., Li, L., Shang, Q.M., Liu, X.Y. and Zhang, Z.G., 2014. Endogenous salicylic acid accumulation is required for chilling tolerance in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. Planta, 240: 687-700. https://doi.org/10.1007/s00425-014-2115-1
- Drazkiewicz, M., 1994. Chlorophyllase: occurrence, functions, mechanism of action, effects of external and internal factors, 30(3): 321-331. https://agris.fao.org/search/en/providers/122644/records/6477598af2e6fe92b36600bb
- El-Esawi, M.A., Elansary, H.O., El-Shanhorey, N.A., Abdel-Hamid, A.M., Ali, H.M. and Elshikh, M.S., 2017. Salicylic acid-regulated antioxidant mechanisms and gene expression enhance rosemary performance under saline conditions. Frontiers in Physiology, 8: 1-14. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00716
- EL-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45: 215-225. https://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1
- Emami Bisteghani, Z. and Bakhshandeh, A., 2021. Physiology of environmental stresses in medicinal plants. Publication of agricultural education. 444p (In Persian). https://agrilib.areeo.ac.ir/book_9560.pdf
- Gharbi, E., Lutts, S., Dailly, H. and Quinet, M., 2018. Comparison between the impacts of two different modes of salicylic acid application on tomato (*Solanum lycopersicum*) responses to salinity. Plant Signaling and Behavior, 13(5): 1469361. https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1469361
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri bagci, E. and Cicek, N., 2007. Salysilic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under Salinity. Journal of Plant Physiology. 164: 728-736. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.07.011
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany, 68: 14-25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005
- Hundare, A., Joshi, V. and Joshi, N., 2022. Salicylic

acid attenuates salinity-induced growth inhibition in in vitro raised ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) plantlets by regulating ionic balance and antioxidative system. Plant Stress, 4: 100070. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100070
- Islam, A.T., Ullah, H., Himanshu, S.K., Tisarum, R., Cha-um, S. and Datta, A., 2022. Effect of salicylic acid seed priming on morpho-physiological responses and yield of baby corn under salt stress. Scientia Horticulturae, 304: 111304. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111304
- Islam, R.U. and Kumar, M., 2014. Extraction of total carotenoids from calendula officinalis and their effects on the oxidation stability of mustard oil. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 8(2): 142-144. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111304
- Kang, H. and Saltveit, M.E., 2001. Activity of enzymatic antioxidant defense systems in chilled and heat shocked cucumber seedling radicles. Physiologia Plantarum, 113: 548-556. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1130414.x
- Khalida, K.A. and Teixeira da Silva, J.A., 2010. Yield, essential oil and pigment content of *Colendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. Scientia Horticulturae, 126: 297-305. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.023
- Khan, M.S., Akther, T., Ali, D.M. and Hemalatha, S., 2019. An investigation on the role of salicylic acid alleviate the saline stress in rice crop (*Oryza sativa* L.). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 18: 101027. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101027
- Koo, Y.M., Heo, A.Y. and Choi, H.W., 2020. Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. The Plant Pathology Journal, 36(1): 1-10. https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.12.2019.0295
- Liu, J., Qiu, G., Liu, C., Li, H., Chen, X., Fu, Q., Lin, Y. and Guo, B., 2022. Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. Life, 12(6): 886. https://doi.org/10.3390/life12060886
- Li, A., Sun, X. and Liu, L., 2022. Action of salicylic acid on plant growth. Frontiers in Plant Science, 13: 1-7. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076
- Mahdavian, K., 2023. Application of salicylic acid on chlorophyll, carotenoids, and proline in radish under salinity stress. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 93(4): 809-818. https://doi.org/10.1007/s40011-023-01484-1
- Martin, E.C., Slack, D.C., Tannksley, K.A. and Basso, B., 2006. Effect of fresh and composted dairy manure applications on alfalfa yield and the environment in Arizona. Agronomy Journal, 98: 80-84. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0039
- Muhammad, M., Waheed, A., Wahab, A., Majeed, M., Nazim, M., Liu, Y.H., Li, L. and Li, W.J., 2023. Soil salinity and drought tolerance: An evaluation of plant growth, productivity, microbial diversity, and amelioration strategies. Plant Stress, 11: 100319. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100319
- Maruri-López, I., Aviles-Baltazar, N.Y., Buchala, A. and Serrano, M., 2019. Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 423: 1-11. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00423
- Mohamed, H.I., El-Shazly, H.H. and Badr, A., 2020. Role of salicylic acid in biotic and abiotic stress tolerance in plants. Plant Phenolics in Sustainable Agriculture, 1: 533-554. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_23
- Munir, M. and Shabbir, G., 2018. Salicylic acid-mediated heat stress tolerance in selected bread wheat genotypes of Pakistan. Pakistan Journal of Botany, 50: 2141-2146. https://www.pakbs.org/pjbot/papers/1531378034.pdf
- Naeem, M., Basit, A., Ahmad, I., Mohamed, H.I. and Wasila, H., 2020. Effect of salicylic acid and salinity stress on the performance of tomato plants. Gesunde Pflanzen, 72: 393-402. https://doi.org/10.1007/s10343-020-00521-7
- Parida, A.K. and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324-349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
- Razmi, N., Ebadi, A., Daneshian, J. and Jahanbakhsh, S., 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. Journal of Plant Interactions, 12(1): 457-464. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1392623
- Rosa Ibara, M.D.L. and Maiti, R.K., 1995. Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. Journal of Plant Physiology, 146: 515-519. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)82017-1
- Santos, C.V., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturae, 103(1): 93-99. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.009
- Sapkota, B. and Kunwar, P., 2024. A review on traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of *Calendula officinalis* Linn. Natural Product Communications, 19(6): 1-22. https://doi.org/10.1177/1934578X241259021
- Shakirova, F., Sakhabutdinova, A., Bezrukova, M.,

Fatkhutdinova, R. and Fatkhutdinova, D., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164: 317-322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6

- Sheteiwy, M.S., An, J., Yin, M., Jia, X., Guan, Y., He, F. and Hu, J., 2019. Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of *Oryza sativa* seedlings. Protoplasma, 256: 79-99. https://doi.org/10.1007/s00709-018-1279-0
- Singh, S., Prakash, P. and Singh, A.K., 2021. Salicylic acid and hydrogen peroxide improve antioxidant response and compatible osmolytes in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit. Agricultural Research, 10: 175-186. https://doi.org/10.1007/s40003-020-00490-3
- Stevens, J., Senaratna, T. and Sivasithamparam, K., 2006. Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization. Plant Growth Regulation, 49: 77-83. https://doi.org/10.1007/s10725-006-0019-1
- Szopa, A., Klimek-Szczykutowicz, M., Jafernik, K., Koc, K. and Ekiert, H., 2020. Pot marigold (*Calendula officinalis* L.)- A position in classical phytotherapy and newly documented activities. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 19(3): 47-61. https://doi.org/ 10.24326/asphc.2020.3.5
- Tahjib-Ul-Arif, M., Siddiqui, M.N., Sohag, A.A.M., Sakil, M.A., Rahman, M.M., Polash, M.A.S., Mostofa, M.G. and Tran, L.S.P., 2018. Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. Journal of Plant Growth Regulation, 37: 1318-1330. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9867-y
- Urban, L., Lauri, F., Ben Hdech, D. and Aarrouf, J., 2022. Prospects for increasing the efficacy of plant resistance inducers stimulating salicylic acid. Agronomy, 12(12): 3151. https://doi.org/10.3390/agronomy12123151
- Verma, P.K., Raina, R., Agarwal, S. and Kour, H., 2018. Phytochemical ingredients and pharmacological potential of *Calendula officinalis* Linn. Pharmaceutical and Biomedical Research, 4(2): 1-17. http://dx.doi.org/10.18502/pbr.v4i2.214
- Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. and Upadhyay, N., 2017. Salicylic acid to decrease plant stress. Environmental Chemistry Letters, 15: 101-123. https://doi.org/10.1007/s10311-016-0584-0
- Wen, B., Li, C., Fu, X., Li, D., Li, L., Chen, X., Wu, H., Cui, X., Zhang, X., Shen, H. and Zhang, W., 2019. Effects of nitrate deficiency on nitrate assimilation and chlorophyll synthesis of detached apple leaves. Plant Physiology and Biochemistry, 142: 363-371. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.007
- Zhang, Y. and Li, X., 2019. Salicylic acid: Biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. Current Opinion in Plant Biology, 50: 29-36. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.02.004
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.K. and Shabala, S., 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. The Innovation, 1(1): 1-41. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017