Plant Prod., 2026, 49(1), 119-135
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.47735.2195
Received: 14 August 2024
Accepted: 02 March 2025

Plant Productions

Research Article

Effect of foliar application of salicylic acid on morphophysiological traits and essential oil content of Iranian Borage (*Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey.) under salinity stress

Mina Amani[1], Mohsen Sabzi-Nojadeh[2*]

1. Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Department of Natural Resources and Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Ahar, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Citation: Amani, M., Sabzi-Nojadeh, M. (2026). Effect of foliar application of salicylic acid on morphophysiological traits and essential oil content of Iranian Borage (*Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey.) under salinity stress. *Plant Productions*, 49(1), 119 - 135.

Abstract

Introduction

Medicinal plants play a vital role in both traditional remedies and modern medicine, serving as the basis of numerous therapeutic agents. Iran's diverse climate and rich natural resources make it as a leading producer and exporter of medicinal plants. *Echium amoenum* is highly valued for its bioactive compounds, but its cultivation is often constrained by environmental stresses, particularly soil salinity, which is common in arid and semi-arid regions. Salinity severely limits the growth and productivity of medicinal plants. Salicylic acid (SA), a plant hormone, is recognized for its ability to enhance plant tolerance to salt stress by regulating physiological and biochemical mechanisms, including osmolyte accumulation and the activation of genes involved in phenolic and flavonoid biosynthesis, key functions for stress adaptation. This study investigates the impact of foliar salicylic acid on the morphophysiological traits and essential oil yield of Iranian Borage under varying levels of salinity stress.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Treatments included three concentrations of salicylic acid (0, 180 and 360 µM) and four salinity levels (0, 25, 50, 75 mM NaCl). Morphophysiological parameters and essential oil content were measured to evaluate plant responses. Assumptions of normality and homogeneity of variance were verified prior to factorial ANOVA.

Results and Discussion

Salinity stress significantly reduced all measured traits in Iranian Borage. However, foliar application of salicylic acid ameliorated these negative effects. The highest values for fresh weight, dry weight, plant height, and essential oil yield were observed with 360 µM salicylic acid in the

* **Corresponding Author:** Mohsen Sabzi-Nojadeh
E-mail: m.sabzi@tabrizu.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article 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 work is properly cited.

absence of salinity. Notably, the maximal accumulation of phenolic and flavonoid compounds occurred at 180 µM salicylic acid under 25 mM NaCl stress. These results indicate a differential response of plant growth and secondary metabolite synthesis to salicylic acid and salinity levels.

Conclusions

Foliar application of salicylic acid, particularly at 360 µM, markedly improves growth, yield, and essential oil content of Iranian Borage under non-saline conditions, while 180 µM under mild salinity enhances the production of phenolic and flavonoids compounds key determinants of the plant's antioxidant capacity and stress resilience. This study highlights salicylic acid as an effective, practical tool to boost both the yield and medicinal value of borage, especially in regions impacted by soil salinity. Its application offers a sustainable strategy for improving the quality and adaptability of medicinal plants in challenging environments.

Keywords: Abiotic Stress, Flavonoids, Foliar Application, Phenolics

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۱)، ۱۱۹-۱۳۵
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.47735.2195
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/ ۰۵ /۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/ ۱۲ / ۱۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و درصد اسانس گیاه دارویی گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey.) تحت تنش شوری

مینا امانی[۱]، محسن سبزی نوجه‌ده[۲*]

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- گروه منابع طبیعی و جنگلداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

تنش شوری یکی از چالش‌های اساسی در تولید موفق محصولات کشاورزی به‌ویژه در زمینهٔ گیاهان دارویی محسوب می‌شود. این نوع تنش می‌تواند اثرات منفی چشمگیری بر رشد و توسعهٔ گیاهان داشته باشد و از این رو، شناسایی راهکارهای مؤثر برای کاهش این اثرات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این زمینه، ترکیبات هورمونی مانند اسید سالیسیلیک به عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شناخته می‌شوند که می‌توانند تأثیرات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی قابل توجهی بر گیاهان تحت تنش شوری داشته باشند. اسید سالیسیلیک به عنوان یک هورمون گیاهی، نقش کلیدی در بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری ایفا می‌کند. به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات رویشی، فیزیولوژیک و درصد اسانس گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey.) در شرایط تنش شوری، یک آزمایش فاکتوریل به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر دانشگاه تبریز انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در غلظت‌های صفر، ۱۸۰ و ۳٦۰ میکرومولار و تنش شوری در سطوح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی مولار کلرید سدیم بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری بر تمامی صفات مورد بررسی تأثیر منفی گذاشت و منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه و درصد اسانس شد. با این حال، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تأثیر مثبتی در بهبود این صفات تحت تنش شوری داشت. بیشترین وزن تر (۲٤/٦ گرم) و خشک (۷/۲ گرم) اندام هوایی، ارتفاع گیاه (۲۵/۹ سانتی‌متر) و درصد اسانس (۱/٦٤ درصد) در تیمار با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و سطح شوری شاهد به دست آمد. همچنین، بیشترین محتوای فنول (۲٤/۵ میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) و فلاونوئید (۱۵/۱ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار با غلظت ۱۸۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد. نتایج بررسی تأثیر تنش شوری در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که استفاده از ۳٦۰ میکرومولار در شرایط تنش شوری معادل ۷۵ میلی‌مولار، منجر به افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان محلول‌پاشی اسید

* **نویسنده مسئول:** محسن سبزی نوجه‌ده
رایانامه: m.sabzi@tabrizu.ac.ir

سالیسیلیک با غلظت ۳۶۰ میکرومولار را به عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه گل گاوزبان ایرانی توصیه کرد. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان یک روش بهینه و مناسب برای افزایش رشد و بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک این گیاه در شرایط تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج می‌تواند به کشاورزان و محققان در بهبود عملکرد گیاهان دارویی تحت شرایط نامساعد محیطی کمک کند و به توسعهٔ روش‌های کشاورزی پایدار و مؤثر منجر شود.

کلید واژه‌ها: تنش غیرزیستی، فنول، فلاونوئید، محلول‌پاشی

مقدمه

لازمهٔ بهره‌برداری اقتصادی از گیاهان دارویی با ارزش، شناخت علمی، کشت و مدیریت مناسب این گیاهان است. هدف از کشت گیاهان دارویی، از جمله گل گاوزبان ایرانی، بهره‌گیری بهینه از مواد مؤثره آن‌ها می‌باشد (Khalaj *et al.*, 2015). تنش شوری یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان است که از طریق افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک، برهم‌خوردن تعادل عناصرغذایی و همچنین ایجاد سمیت ناشی از تجمع سدیم و کلر در گیاه باعث اختلال در رشد گیاه می‌شود. در خاک‌های شور، غلظت بالای سدیم نه‌تنها باعث اختلال در جذب پتاسیم و تغییر نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه‌ها می‌شود، بلکه ممکن است غشای سلول‌های ریشه را نیز تخریب کرده و توان آن را در ورود انتخابی سایر یون‌ها تغییر دهد (Alavi Matin *et al.*, 2016). تنش شوری موجب تغییرات شیمیایی و مورفوفیزیولوژیک در گیاهان می‌شود. این تنش رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Acharya *et al.*, 2024).

اسید سالیسیلیک یک مادهٔ شبه هورمونی است که به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی عمل می‌کند و به عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم در واکنش‌های گیاه به تنش‌های متعدد شناخته شده است (Hanif *et al.*, 2024). اسید سالیسیلیک و ترکیبات مربوطه به گروهی از ترکیبات فنولی تعلق دارند که نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک دارد. اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه اثر می‌گذارد و با ایجاد سطح خفیفی از تنش اکسیداتیو، بیان ژن‌های سنتز ترکیبات فنولی و فلاونوئید را افزایش می‌دهد (Gondor *et al.*, 2016). نشان داده شده است که استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش می‌تواند به‌طور مؤثری باعث کاهش آسیب به رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان جوز هندی (*Myristica fragrans*) (Li *et al.*, 2014) و میخک (*Syzygium aromaticum*) (Ma *et al.*, 2017) شود. تجمع مواد محلول سازگار در گیاهان طی تنش شوری ممکن است موجب تعدیل اسمزی و پایداری ساختارهای سلولی شود (Nounjan *et al.*, 2012). بنابراین، می‌توان چنین فرض کرد که تیمار با اسید سالیسیلیک، احتمالاً از طریق افزایش غلظت اسمولیت‌ها سبب القای تحمل در برابر تنش شوری شود. باتوجه به اهمیت استفاده از اسیدهای آلی جهت کاهش اثرات تنش شوری، هدف از این پژوهش بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک و درصد اسانس گیاه دارویی گل گاوزبان تحت تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک و درصد اسانس گل گاوزبان ایرانی در شرایط تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی اهر دانشگاه تبریز اجرا شد. تیمارها شامل محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (صفر، ۱۸۰ و ۳۶۰ میکرومولار) و تنش شوری (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. برای کشت از

گلدان‌های استریل هفت کیلویی با قطر دهانهٔ ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر استفاده شد. به منظور ضدعفونی بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی، بذرها به مدت دو تا سه دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار داده شدند و سپس با آب مقطر شست و شو داده شدند. همچنین برای کشت بذور گل گاوزبان، جهت اطمینان از قدرت جوانه‌زنی بذرها تست جوانه‌زنی روی آن‌ها انجام گرفت که درصد جوانه‌زنی ۹۵ درصد بود. به‌منظور کاشت بذرها، ابتدا دوسوم حجم گلدان با خاک پر شد و بذرها کاشته شدند. در هر گلدان ۱۰ بذر کاشته شد و در پایان یک سانتی‌متر خاک روی بذرها ریخته شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کشت انجام پذیرفت. جوانه‌زنی بذرها در محیط گلخانه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد پس از گذشت ۱۰ روز آغاز گردید. شرایط آبیاری گیاهان تا پیش از اعمال تیمارها یکسان بود و پس از استقرار گیاهان در گلدان‌ها در مرحله شش برگی اقدام به اعمال تیمارهای مورد بررسی شد. به علت استفاده از اسید سالیسیلیک به عنوان هورمون رشد و مقایسهٔ اثر آن در هنگام تنش شوری از هیچ نوع کودی برای تغذیه استفاده نشد. محلول شوری در غلظت‌های مختلف تهیه شد و به صورت آبیاری گیاهان هفته‌ای دوبار آبیاری شدند. جهت تهیه غلظت‌های مختلف از پودر اسید سالیسیلیک از آب مقطر استفاده شد و نمونه شاهد توسط آب مقطر محلول‌پاشی شد، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نیز در سه مرحله از مرحله شش برگی به فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار اعمال و در نهایت نمونه‌برداری و ارزیابی صفات حدود دو هفته پس از آخرین محلول‌پاشی در مرحله گلدهی انجام شد. پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات در مرحلهٔ گلدهی کامل صورت پذیرفت.

وزن تر اندام هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت صدم گرم توزین شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و درنهایت توسط ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم توزین شد.

در انتهای آزمایش و قبل از برداشت گیاهان، ارتفاع هر نمونه در گلدان برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد، به این صورت که ارتفاع هر شاخه از سطح بستر (محل طوقه) تا جوانه انتهایی با خط‌کش اندازه‌گیری شد. هر گلدان به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و پنج بوته از هر گلدان به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین ارتفاع نهایی بوته محاسبه شد.

اندازه‌گیری فنول کل، طبق روش دو و همکاران (Du *et al.*, 2009) و با استفاده از معرف Folin-Cicoalteu در طیف جذبی ۷۶۵ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. برای انجام این کار، ابتدا مقدار ۲۰۰ میکرولیتر عصارهٔ استخراج شده با متانول با ۲۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد مخلوط شد. پس از قراردادن به مدت ۱۰-۵ دقیقه در دمای اتاق، ۶۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم به محلول حاصل اضافه شد. پس از دو ساعت نگهداری در تاریکی و دمای اتاق، میزان جذب عصاره نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. قبل از قرائت میزان جذب استاندارد اسید گالیک و نمونه‌ها، محلول صفر که شامل ۱۰۰ میکرولیتر حلال استخراج (متانول)، یک میلی‌لیتر آب مقطر، ۱۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد و ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم بود، تهیه و دستگاه با آن کالیبره شد. میزان فنول کل از روی میزان جذب نمونه و نمونه‌های استاندارد برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه گردید.

محتوای فلاونوئید کل عصاره‌ها با استفاده از روش چانگ و همکاران (Chang *et al.*, 2002) به روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد. بدین منظور، از عصاره استخراج شده با متانول، ۴۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد، ۴۰ میکرولیتر استات پتاسیم یک مولار و ۱/۱۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، میزان جذب عصاره نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. محلول بلانک نیز حاوی تمام ترکیبات ذکرشده در بالا بود، اما به جای عصاره، ۲۰۰ میکرولیتر متانول ۸۰ درصد به آن اضافه شد. برای به دست آوردن منحنی کالیبراسیون از

کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده شد. مقدار فلاونوئید نمونه‌ها به‌صورت میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر گزارش گردید.

اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی با استفاده از روش ژنگ و همکاران (Zheng et al., 2005)، به وسیلهٔ تست اسید تیوباربیتوریک[1] با سنجش میزان مالون دی آلدهید انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت گیاه در هاون چینی حاوی ۱/۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک ۰/۱ درصد هموژن شد. مخلوط حاصل به مدت سه دقیقه در ۱۳۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ، ۱/۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد در بن‌ماری قرار داده شد. سپس مخلوط حاصل بلافاصله در یخ، سرد شد و پس از آن به مدت سه دقیقه در ۱۳۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب مایع شفاف رویی با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. میزان مالون دی آلدهید با اعمال ضریب خاموشی معادل ۱۵۵ میلی‌مولار بر سانتی‌متر طبق رابطه ۱ محاسبه شد. در نهایت غلظت مالون دی آلدهید نمونه‌ها بر حسب نانومول بر گرم وزن تر محاسبه شد.

A میزان جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر

$$MDA = \frac{A_{532}-A_{600}}{155\times1000}$$ رابطه ۱

فعالیت آنزیم کاتالاز با اندازه‌گیری سرعت حذف پراکسید هیدروژن براساس روش ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) صورت پذیرفت. یک واحد فعالیت کاتالاز بر مبنای تغییرات جذب نوری محلول در طول موج ۲۴۰ نانومتر در طی یک دقیقه بر مبنای میزان مصرف H_2O_2 برآورد شد. براساس این روش، مخلوط واکنش شامل ۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۳۰۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۵۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با اضافه کردن آب اکسیژنه، واکنش شروع شده و کاهش در جذب آب اکسیژنه در مدت یک دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. برای کالیبره نمودن دستگاه اسپکتروفتومتر محلول شاهد شامل مخلوط واکنش به جز عصاره آنزیمی بود. غلظت آب اکسیژنه مصرف شده پس از یک دقیقه اندازه‌گیری و فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی معادل $43/6\ mM^{-1}cm^{-1}$ مطابق رابطه ۲ و بر حسب میکرومول در گرم پروتئین در دقیقه محاسبه شد.

$$\text{آنزیم کاتالاز} = \frac{\frac{doD}{\min(slope)}\times \text{Vol.of assay (0.0003)}}{\text{Extinction cofficient (43.6)}}$$ رابطه ۲

$\frac{doD}{\min(slope)}$ اختلاف بین دو قرائت در یک دقیقه

Vol.of assay (.0003) حجم محلول داخل سل

Etinction coefficient (43.6) ضریب خاموشی

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکول و اندازه‌گیری میزان جذب تتراگایاکول تشکیل شده از آن در نتیجه فعالیت پراکسیداز در ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) انجام گرفت. بدین منظور ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش، حاوی ۱۵۰۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۳۰۰ میکرولیتر EDTA[2] ۰/۱ میلی‌مولار، ۶۰۰ میکرولیتر گایاکول پنج میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار اضافه شده و جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر در دو نوبت با فاصله زمانی دو دقیقه قرائت شد. در محلول بلانک به جای عصاره آنزیمی، ۱۰ میکرولیتر از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) استفاده شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از رابطه ۳ و برحسب میکرومول بر گرم پروتئین در دقیقه محاسبه شد.

$$\text{آنزیم پراکسیداز} = \frac{Vt\times\Delta A\times\text{total volume of the extract}}{\varepsilon\times\Delta t\times L\times Vs\times\text{weight of the tissue}}$$ رابطه ۳

1- Thiobarbituric acid

2- Ethylenediaminetetraacetic acid

V_t: حجم محلول واکنش، ΔA: اختلاف دو جذب قرائت شده، E: ضریب خاموشی (۲۶/۶ سانتی‌متر بر مولار)، L: مسیر نوری برابر با ۱ سانتی‌متر، V_s: حجم عصاره در محلول واکنش، Δt: فاصله زمانی دو قرائت

به‌منظور تعیین ویژگی کمی اسانس گل گاوزبان ایرانی، استخراج اسانس از آن در مرحلهٔ گلدهی انجام گرفت. استخراج اسانس به‌صورت تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور ۲۵ گرم از اندام هوایی گیاه خشک شده در آون توزین و با استفاده از آسیاب برقی خرد گردید و در بالن یک لیتری ریخته شد و به حجم یک سوم بالن آب مقطر اضافه شد و در روی هیتر با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد به نقطه جوش رسید و با استفاده از دستگاه کلونجر نمونه‌ها اسانس‌گیری شدند. مدت اسانس‌گیری سه ساعت درنظر گرفته شد. آب و گیاه خرد شده در بالن شیشه‌ای، جوشیده و بخار حاصل از آن پس از عبور از فضای سرد مبرد (داخل کلونجر) متراکم شده و ذرات مایع اسانس روی سطح آب تشکیل گردید. چون اسانس سبک‌تر از آب است در محل جمع‌آوری اسانس که حباب شیشه‌ای بالای لوله مدرج در کلونجر می‌باشد، روی سطح آب جمع شد. پس از سرد شدن (حدود ۳۰ دقیقه) با باز کردن شیر متصل به لوله مدرج ابتدا آب و سپس اسانس خارج گردید (Amani *et al.*, 2023). درنهایت درصد اسانس از رابطه ۴ به دست آمد.

$$\text{درصد اسانس} = \frac{\text{جرم اسانس}}{\text{وزن اندام هوایی}} \times ۱۰۰ \qquad \text{رابطه ۴}$$

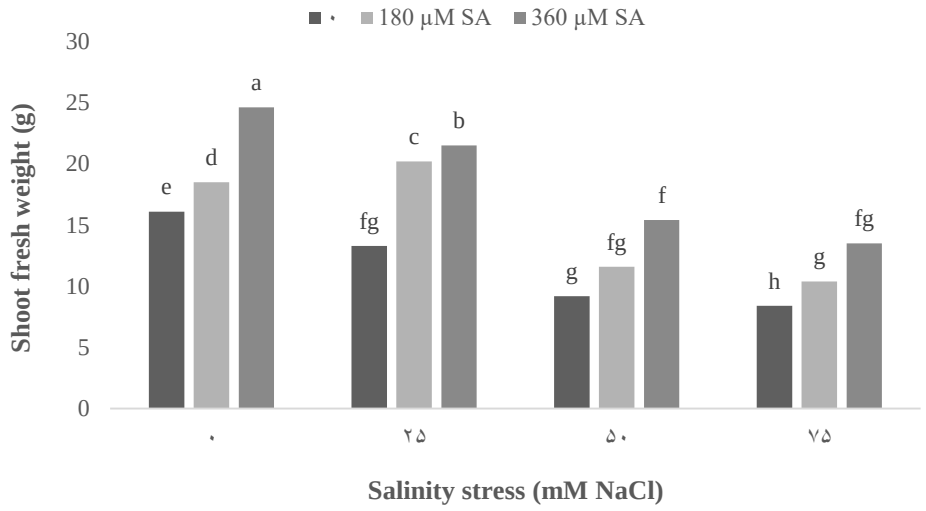
در ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌های درون‌تیماری انجام و مورد تأیید قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.3) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (Excel) استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی

بررسی داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی (۲۴/۶ گرم) در تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۳۶۰ میکرومولار بدون تنش شوری و کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به تیمار تنش شوری ۱۲۸۸/۲۸ میکرومولار بدون محلول‌پاشی (۸/۴ گرم) مشاهده شد (شکل ۱). همچنین بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۳۶۰ میکرومولار بدون اعمال تنش شوری (۷/۲ گرم) و کمترین میزان در تیمار بدون محلول‌پاشی با غلظت ۷۵ میلی‌مولار تنش شوری (۲/۹ گرم) به دست آمد (شکل ۲). در این پژوهش، تنش شوری وزن تر و خشک اندام هوایی را کاهش داد، زیرا تنش شوری موجب کاهش پتانسیل آب، عدم تعادل یونی و سمیت در گیاه می‌شود که موجب تحت تأثیر قراردادن رشد گیاه در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک مانند فتوسنتز، تغییر در طیف جذبی کلروپلاست‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود و درنهایت موجب کاهش شاخص‌های رشدی گیاه می‌گردد (Farquhar and Sharkey, 1982; Rahnama *et al.*, 2010; Damour *et al.*, 2010; Fazeli *et al.*, 2018). اسید سالیسیلیک نیز به عنوان مولکول پیام‌رسان، اساساً در واکنش به تنش‌های محیطی در گیاهان نقش دارد، در شرایط تنش در بافت‌های گیاه تجمع یافته و سبب افزایش تحمل گیاه به تنش شوری می‌شود، این تأثیر مثبت می‌تواند به افزایش میزان فتوسنتز، تولید مادهٔ خشک و نیز جذب بیشتر مواد معدنی توسط گیاه در ارتباط باشد (Eshghi *et al.*, 2017). زمانی که غلظت نمک بیشتر از شرایط عادی است، محتوای آب در دسترس کاسته می‌شود و به جای صرف انرژی در رشد و تولید عملکرد، انرژی را به تنظیمات بیوشیمیایی برای زنده ماندن اختصاص می‌دهد (Hancioglu *et al.*, 2019). افزون بر این در شرایط شوری، همبستگی قوی بین آب ریشه و تولید زیست توده وجود دارد، بدین ترتیب که کم‌شدن جذب آب توسط ریشه، با کم شدن جذب عناصرغذایی و استفاده توسط گیاه همراه است و می‌تواند روی تولید مادهٔ خشک اثر بگذارد (Taarit *et al.*, 2011). ردی و محمد (Rady and Mohamed, 2015) گزارش کردند که

تیمار بذرها و شاخساره لوبیا با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری باعث افزایش پارامترهای مربوط به رشد رویشی شد. در این بررسی تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد. باتوجه به این که یکی از آثار تنش شوری جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است. به همین دلیل پتانسیل آب جهت آماس سلول‌ها، کاهش می‌یابد و درنتیجه وزن گیاه کم می‌شود. محمدزاده و همکاران (Mohammadzadeh *et al.*, 2013) نشان دادند که شوری کاهش قابل ملاحظه‌ای را در وزن اندام هوایی سبب می‌شود. این محققین گزارش نمودند که تحت تأثیر تیمار شوری، روزنه‌ها بسته شده و درنتیجه از تثبیت دی اکسیدکربن و در نهایت از میزان وزن خشک گیاه کاسته می‌شود. از سوی دیگر جذب آب و مواد غذایی نیز تحت تأثیر شوری کاهش می‌یابد که این کاهش بر رشد گیاه تأثیر منفی خواهد گذاشت.

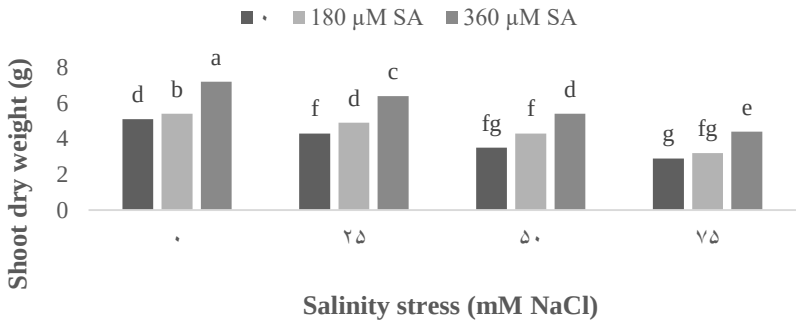


شکل ۱- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر وزن تر اندام هوایی

Figure 1. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on the shoot fresh weight

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.



شکل ۲- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 2. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on the shoot dry weight

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

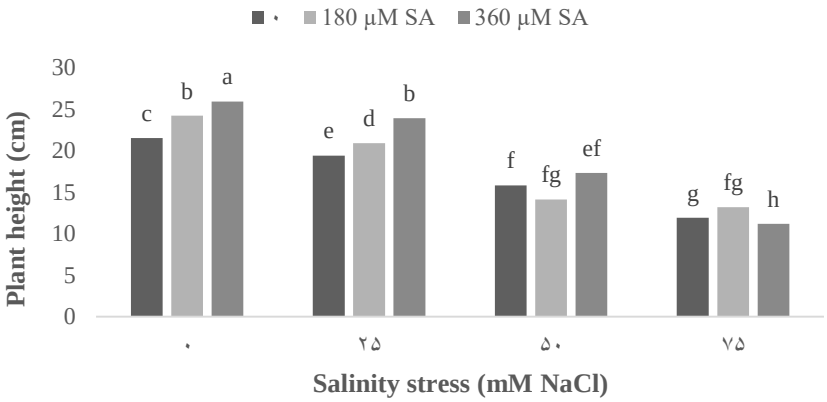
The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین تنش شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در تیمار اسید سالیسیلیک ۳۶۰ میکرومولار و بدون اعمال تنش شوری بیشترین (۲۵/۹ سانتی‌متر) و تیمار شوری ۷۵ میلی-مولار کمترین (۱۱/۱۷ سانتی‌متر) ارتفاع گیاه مشاهده شد (شکل ۳). تنش شوری موجب کاهش ارتفاع گیاه گردید، ارتفاع گیاه یکی از ویژگی های مورفولوژیک است که به شدت تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد و در این شرایط عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دورهٔ رشد گیاه و نیز مکانیزم‌های فرار از تنش همگی می‌توانند مانع از توسعه عادی سلول‌ها و درنتیجه کاهش ارتفاع گیاه شوند (Rafique *et al.*, 2023). از سوی دیگر، کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش ارتفاع گیاه تحت تنش شوری گردید، زیرا اسید سالیسیلیک با افزایش مقدار هورمون‌های اکسین و سیتوکینین موجب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Talaat *et al.*, 2022). رشد گیاهان در شرایط تنش شوری ممکن است از راه تنش اسمزی ناشی از کاهش پتانسیل آب در محیط رشد ریشه، یا به دلیل تأثیرات ویژه یون‌ها در فرآیندهای متابولیسمی کاهش یابد و رشد گیاه را محدود کند (Munns and Tester, 2008; Rahnama *et al.*, 2010). بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2012) با کاربرد کلرید سدیم در غلظت‌های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار بر گل همیشه بهار نشان دادند که طول شاخساره در اثر تیمارهای شوری نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد که با کاربرد برگی اسید سالیسیلیک در غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار طول شاخساره به صورت معنی‌داری نسبت به گیاهان تحت تنش بیشتر شد.

محتوای فنول

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین میزان فنول (۲۴/۵ برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۸۰ میکرومولار و تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار و کمترین میزان مربوط به تیمار شوری ۷۵ میلی‌مولار بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۱۳/۷ برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) به دست آمد (شکل ۴). نتایج این آزمایش نشان داد میزان فنول در تنش شوری ۲۵ میلی‌مولار افزایش یافت، اما با افزایش تنش از میزان آن کاسته شد، تنش انرژی برانگیخته فراوانی به وجود می‌آورد و یکی از راه‌ها برای پخش این انرژی، تولید پلی‌فنول‌ها به ویژه در ساختارهای فتوسنتزی است. در گیاه مرزه نیز افزایش فنول نیز تحت تنش شوری گزارش شده است (Firoozeh *et al.*, 2019). همچنین اسید سالیسیلیک نیز به عنوان مولکول پیام‌رسان کلیدی در فعال‌سازی واکنش‌های اختصاصی دفاعی گیاه منجر به کاهش تولید مواد اولیه و بیوسنتز و تجمع انواع ترکیبات ثانویه گیاهی ازجمله ترکیبات فنولی می‌گردد (Zhang *et al.*, 2016). درویژه و همکاران Darvizheh *et al.*, (2019) نیز اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر میزان فنول گیاه سرخارگل را گزارش نمودند.

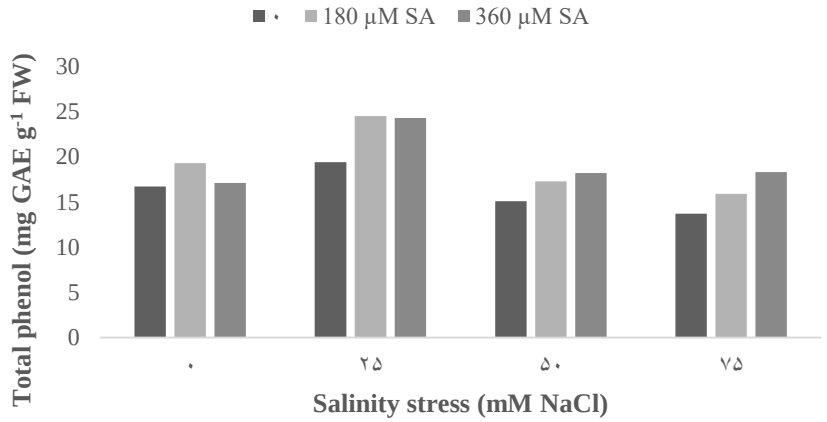


شکل ۳- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته

Figure 3. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on plant height

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.



شکل ٤- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای فنول کل

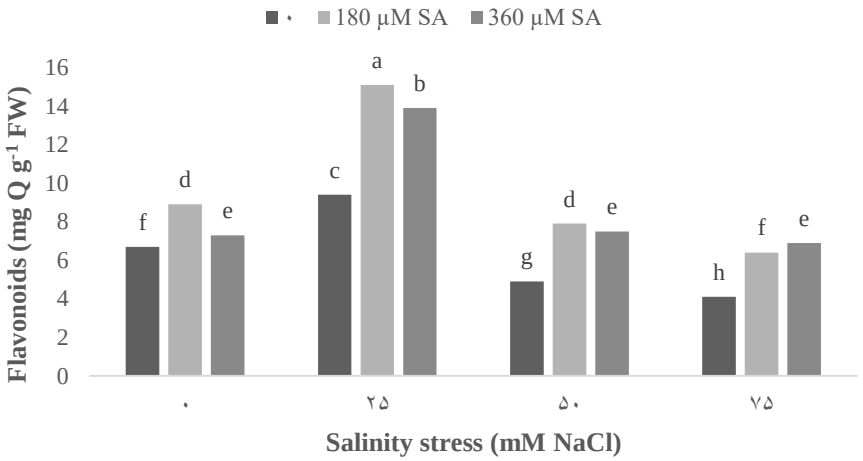
Figure 4. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on total phenol content

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.

محتوای فلاونوئید

بررسی میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین محتوای فلاونوئید (۱۵/۱ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۸۰ میکرومولار و سطح شوری شاهد و کمترین میزان در تیمار (۴/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار شوری ۷۵ میلی‌مولار به دست آمد (شکل ۵). نتایج پژوهش حاضر نشان داد محتوای فلاونوئید در سطح تنش شوری ۱۸۰ میکرومولار افزایش یافت، درحالی‌که افزایش شدت تنش موجب کاهش محتوای فلاونوئید گردید، شوری و اسید سالیسیلیک هر کدام در مسیرهای فیزیولوژیک متفاوت، موجب تنظیم ژن‌های بیوسنتزی فلاونوئید می‌شوند، همچنین افزایش بیوسنتز فلاونوئیدها با افزایش گلوتاتیون -S- ترانسفراز همراه است و در انتقال فلاونوئیدها به واکوئل نقش دارد (Gondor *et al.*, 2016). همچنین بررسی‌ها نشان داده است که اسید سالیسیلیک با بیان ژن‌های مربوط به آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در بیوسنتز فنیل پروپانوئید نقش دارند و القای این ژن موجب تجمع ترکیبات فلاونوئیدی در گیاهان می‌شود (Canellas *et al.*, 2015). اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر میزان فلاونوئید توسط بیستگانی و همکاران Bistgani *et al.*, (2019) در گیاه آویشن دنایی گزارش شده است.



شکل ۵- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر محتوای فلاونوئید

Figure 5. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on flavonoid content

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.

غلظت مالون دی آلدهید

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین میزان مالون دی آلدهید (۴/۱۲ نانومول بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار بدون اعمال اسید سالیسیلیک و کمترین میزان مربوط به تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۳۶۰ میکرومولار بدون اعمال تنش شوری (۰/۳۴ نانومول بر گرم وزن تر) به دست آمد (شکل ۶). در شرایط تنش میزان تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر از طریق واکنش‌های اکسیداتیو موجود در فرایندهای تنفس میتوکندری و فتوسنتزی افزایش می‌یابد. خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش شوری بر اساس پراکسیداسیون لیپید که شاخص آن محتوای مالون دی آلدهید و همچنین پراکسید هیدروژن است، مشخص می‌شود. نتایج نشان داد تنش شوری منجر به افزایش میزان مالون دی آلدهید در بافت گیاهی شد، به طوری که در هر سطح شوری با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، میزان مالون دی آلدهید به طور معنی‌داری کاهش یافت. این نتایج نشان داد که تنش شوری با افزایش پراکسیداسیون لیپید، باعث مرگ سلول شد، ولی کاربرد اسید سالیسیلیک با جلوگیری از تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و مالون دی آلدهید، خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش داد که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Siddiqui *et al.*, 2019). بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک بر کاهش میزان تولید مالون دی آلدهید در گیاه تحت شرایط تنش شوری را می‌توان ناشی از نقش مثبت این تنظیم‌کننده در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تحریک تولید ترکیبات مهارکننده رادیکال‌های آزاد در حفاظت از لیپیدهای غشای سلول‌ها دانست. افزایش محتوای مالون دی آلدهید در گیاه شنبلیله (Abdelhameed *et al.*, 2021)، نعناع (Coban and Baydar, 2016) و پروانش (Hassan *et al.*, 2021)، زوفا (Jahantigh *et al.*, 2016) و مرزه (Akbari *et al.*, 2013) تحت تنش شوری مشاهده شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

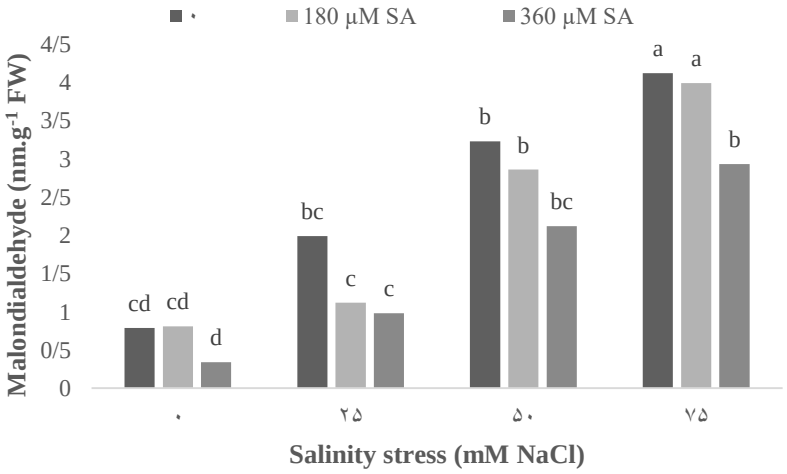
فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک منجر به افزایش بیشتر فعالیت آنزیم کاتالاز و بهبود تحمل گیاه نسبت به تنش شوری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف شوری قرار گرفت و نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج برهم‌کنش تنش شوری در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که کاربرد ۳۶۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک در تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد (شکل ۷). مقدار کاتالاز به عنوان یکی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم آنزیمی در شرایط تنش افزایش یافته و خسارت اکسیداتیو

ناشی از تنش را کاهش می‌دهد. کاربرد اسید سالیسیلیک در این شرایط با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تولید این آنزیم، افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز ایجاد می‌کند (ElSayed *et al.*, 2021). کاتالاز به عنوان یک آنزیم درگیر در کاهش پراکسید هیدروژن و تبدیل آن به آب و اکسیژن، نقش مهمی در کاهش خسارت ناشی از پراکسید هیدروژن دارد (ElSayed *et al.*, 2021). روند تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز با توجه به تغییر سطوح تنش شوری و کاربرد اسید سالیسیلیک مشابه آنزیم کاتالاز می‌باشد و با افزایش سطوح تنش شوری، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تمام غلظت‌های اسید سالیسیلیک افزایش یافت. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار ۱۸۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و ۷۵ میلی‌مولار تنش شوری به دست آمد (شکل ۸). تنش شوری با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر منجر به آسیب سلول‌ها می‌شود. کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش با افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز، نقش مهمی در حفظ تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر در یک سطح طبیعی و جلوگیری از تولید بیش از اندازه آن‌ها دارد (Ur-Rahman *et al.*, 2021).

درصد اسانس

بررسی‌ها نشان داد، بیشترین درصد اسانس با ۱/۶۴ درصد مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک ۳۶۰ میکرومولار و کمترین میزان اسانس با ۱/۰۹ درصد مربوط به تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار بود (شکل ۹). افزایش تنش شوری، درصد اسانس را کاهش داد، برخی از پژوهشگران معتقدند که افزایش میزان سدیم در محیط ریشه و محدود شدن عرضه سیتوکینین از ریشه‌ها به شاخه‌ها و درنتیجه تغییر نسبت بین سیتوکینین و اسید آبسیزیک برگ دلیل کاهش عملکرد اسانس است. همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود درصد اسانس در شرایط تنش گردید، زیرا اسید سالیسیلیک به‌عنوان عامل انتقال‌دهنده سیگنال‌های دریافت تنش، سبب فعال‌شدن سیستم دفاعی گیاه و تحریک تولید اسانس می‌شود، درنتیجه کاربرد اسید سالیسیلیک با ایجاد تنش کاذب تولید اسانس را افزایش می‌دهد، از سویی دیگر با بهبود فتوسنتز و رشد گیاه موجب افزایش اسانس پیکر رویشی گیاه می‌شود. کاربرد اسید سالیسیلیک نیز در گیاه مرزه موجب افزایش میزان اسانس شد (Sadeghian *et al.*, 2013).

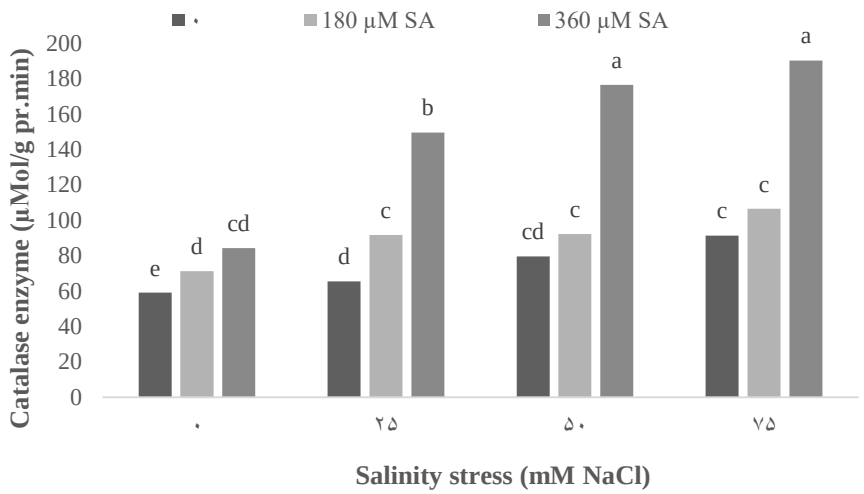


شکل ٦- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر غلظت مالون دی آلدهید

Figure 6. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on malondialdehyde concentration

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.

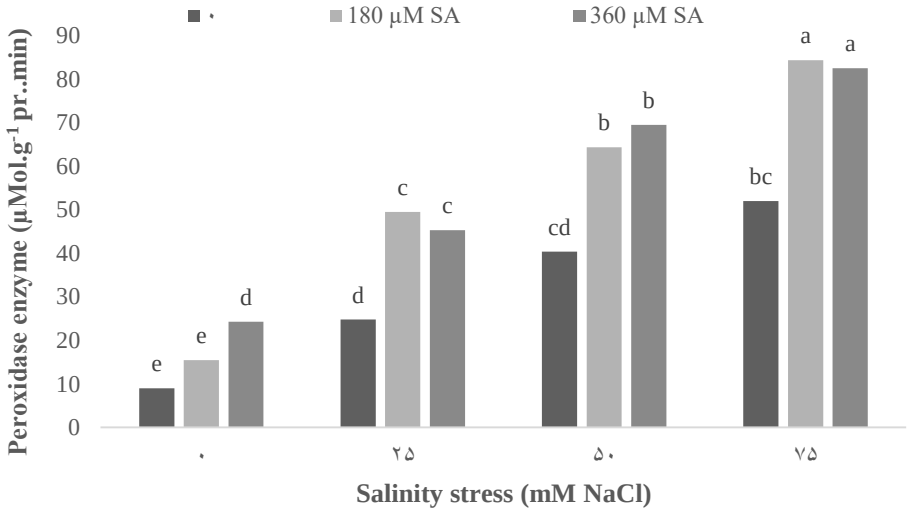


شکل ۷- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم کاتالاز

Figure 7. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on catalase enzyme activity

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.

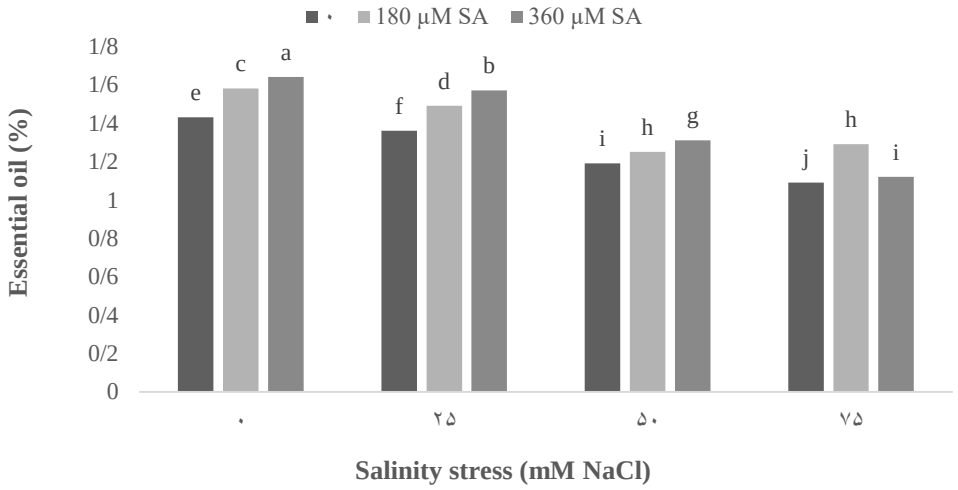


شکل ۸- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

Figure 8. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on peroxidase enzyme activity

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.



شکل ۹- برهم‌کنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس

Figure 9. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on essential oil (%)

گروه‌هایی که در هر ستون دارای حروف متفاوت هستند، از نظر آماری در سطح $p \leq 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

The groups which lettered differently (in each column), are statistically different at $p \leq 0.05$.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه و درصد اسانس در تیماری که با غلظت ۳۶۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک تحت شرایط شوری شاهد قرار داشت، به دست آمد. این یافته‌ها حاکی از تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر رشد و توسعه گیاه در شرایط تنش شوری هستند. علاوه بر این، بیشترین محتوای فنول و فلاونوئید نیز در تیمار با غلظت ۱۸۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر ترکیبات بیوشیمیایی گیاه داشته باشد. به طور خاص، غلظت ۳۶۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک نه‌تنها به افزایش رشد فیزیکی گیاه کمک کرد، بلکه همچنین منجر به افزایش درصد اسانس و بهبود کیفیت ترکیبات فعال گیاهی شد. با وجود اینکه تنش شوری به طور کلی موجب کاهش شاخص‌های رشدی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه می‌شود، اما استفاده از اسید سالیسیلیک با غلظت ۳۶۰ میکرومولار توانست اثرات منفی این تنش را کاهش دهد و به بهبود ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه کمک کند. بنابراین، بر اساس نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر روی گیاه گل گاوزبان ایرانی به عنوان یک روش اقتصادی و امیدوارکننده برای افزایش رشد و بهبود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی این گیاه در شرایط تنش شوری پیشنهاد می‌شود. این روش می‌تواند به کشاورزان و تولیدکنندگان کمک کند تا با استفاده از تکنیک‌های ساده و کم‌هزینه، عملکرد و کیفیت محصولات خود را در شرایط دشوار محیطی بهبود بخشند.

سپاس گزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۲۷/۴۲/و می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است. از دانشگاه تبریز به خاطر حمایت پژوهشی تشکر و قدردانی می‌شود

References

Abdelhameed, R. E., Abdel Latef, A. A. H., & Shehata, R. S. (2021). Physiological responses of salinized fenugreek (*Trigonellafoenum-graecum* L.) plants to foliar application of aalicylic acid. *Plants*, 10(4), 657-669. https://doi.org/10.3390/plants10040657

Acharya, B. R., Gill, S. P., Kaundal, A., & Sandhu, D. (2024). Strategies for combating plant salinity stress: the potential of plant growth-promoting microorganisms. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1406913. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1406913

Akbari, S., Kordi, S., Fatahi, S., & Ghanbari, F. (2013). Physiological responses of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under salinity stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(15), 1702-1708. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20133287082

Alavi Matin, S.M., Rahnama, A. & Meskarbashee, M. (2016). Effect of potassium supply on the activity of some antioxidant enzymes of two durum wheat cultivars under salt stress. *Plant Productions*, 38(4), 1-12. https://doi.org/10.22055/ppd.2016.11828 [In Persian].

Amani, M., Sabzi Nojadeh, M., Alizadeh-Salteh, S., & Younessi Hamzekhanlu, M. (2023). Study of the effect of water stress and different species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on economic yield, essential oil yield and photosynthetic pigments of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(3),134-156. https://doi.org/10.22034/saps.2022.50909.2854 [In Persian].

Bayat, H., Alirezaie, M., & 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 & Biochemistry*, 8(1), 258-267. jspb.ru/issues/2012/N1/JSPB_2012_1_258-267.pdf

Bistgani, Z. E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 135, 311-320. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055

Canellas, L. P., Silva, S. F., & Olivares, F. L. (2015). Foliar application of *Herbaspirillum seropedicae* and humic acid increase maize yields. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 13, 146-153.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assays of catalases and peroxidases. In: Methods in Enzymology. *(Colowick, S.P. and Kaplan, N.O.,* Eds.*) Academic Press, New York*, 764-775. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

Coban, O., & Baydar, N. G. (2016). Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in Peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Industrial Crops and Products*, 86, 251-258. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.049

Damour, G., Simonneau, T., Cochard, H., & Urban, L. (2010). An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, cell & environment*, 33(9), 1419-1438. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02181.x.

Darvizheh, H., Darvizheh, M., & Abbaszadeh, B. (2019). Effects of foliar application of salicylic acid and spermine on the growth and root morphological characteristics of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under drought stress. *Plant Process and Function*, 8(30), 225-242. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5 [In Persian].

Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113(2), 557-562. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.115

Elsayed, A. I., Rafudeen, M. S., Gomaa, A. M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Exogenous melatonin enhances the ROS metabolism, antioxidant defense-related gene expression and photosynthetic capacity of *Phaseolus vulgaris* L. to confer salt stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 173, 1369-1381. https://doi.org/10.1111/ppl.13372Digital Object Identifier (DOI)

Eshghi, S., Moharami, S., & Jamali, B. (2017). Effect of salicylic acid on growth, yield and fruit quality of strawberry cv. 'Paros' under salinity conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 7(4), 163-174. [In Persian]. jspi.iut.ac.ir/article-1-1269-en.pdf

Farquhar, G. D., & Sharkey, T. D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual review of plant physiology*, 33(1), 317-345. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533

Fazeli, A., Zarei, B., & Tahmasebi, Z. (2018). The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(4), 68-83. https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.104605.1029 [In Persian].

Firoozeh, R., Khavarinejad, R., Najafi, F., & Saadatmand, S. (2019). Effects of gibberellin on contents of photosynthetic pigments, proline, phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(4), 894-908. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1397.31.4.12.4 [In Persian].

Gondor, O. K., Janda, T., Soos, V., Pal, M., Majlath, I., Adak, M. K., Balazs, E., & Szalai, G. (2016), Salicylic acid induction of flavonoid biosynthesis pathways in wheat varies by treatment. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1447. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01447

Hancioglu, N.E., Kurunc, A., Tontul, I., & Topuz, A. (2019). Irrigation water salinity effects on oregano (*Origanum onites* L.) water use, yield and quality parameters. *Scientia Horticulturae*, 247, 327-334. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.044

Hanif, S., Mahmood, A., Javed, T., Bibi, S., Zia, M. A., Asghar, S., & Ali, B. (2024). Exogenous application of salicylic acid ameliorates salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC Plant Biology*, 24(1), 1-16. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04968-y

Hassan, F. A. S., Ali, E., Gaber, A., Fetouh, M. I., & Mazrou, R. (2021). Chitosan nanoparticles effectively combat salinity stress by enhancing antioxidant activity and alkaloid biosynthesis in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 291-300. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.004

Jahantigh, O., Najafi, F., Naghdi Badi, H., Khavari-Nejad, R. A. & Sanjarian, F. (2016). Study of some physiological parameters hyssop (*Hyssopus officinalis*) in the vegetative stage under the influence of salinity. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8(27), 81-94. https://ijpb.ui.ac.ir/article_20695.html?lang=en

Khalaj, H., Allahdadi, I., Iranejad, H., Akbari, G. A., Min Bashi, M., Baghestani, M., Labbafi, M., & Mehrafarin, A. (2015). Using nonlinear regression model for estimation of cardinal temperatures in three medicinal plants. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 49, 165-173. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243549

Li, T., Hu, Y., Du, X., Tang, H., Shen, C., & Wu, J. (2014). Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems, *PLOS One*, 9(10), e109492. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109492

Ma, X., Zheng, J., Zhang, X., Hu, Q., & Qian, R. (2017). Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. *Frontiers in Plant Science*, 8, 600. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00600

Mohammadzadeh, M., Arouee, H., Neamati, S. H., & Shoor, M. (2013). Effect of different levels of salt stress and salicylic acid on morphological characteristics of four mass native basils (*Ocimum basilcum*). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 3590-3596. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143088452 [In Persian].

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-81. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Nounjan, N., Nghia, P. T., & Theerakulpisut, P. (2012). Exogenous proline and trehalose promote recovery of rice seedlings from salt-stress and differentially modulate antioxidant enzymes and expression of related genes. *Journal of Plant Physiology*, 169(6), 596-604. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.004

Rady, M. M., & Mohamed, G. F. (2015). Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and Moringa oleifera leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 193, 105-113. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003

Rafique, N., Ilyas, N., Aqeel, M., Raja, N. I., Shabbir, G., Ajaib, M., Sayyed, R. Z., Alharbi, S. A., & Ansari, M. J. (2023). Interactive effects of melatonin and salicylic acid on Brassica napus under drought condition. *Plant and Soil*, 505, 65–84. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1321383/v1

Rahnama, A., James, R. A., Poustini, K., & Munns, R. (2010). Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*, 37(3), 255-263. https://doi.org/10.1071/FP09148

Sadeghian, F., Hadian, J., Hadavi, M., Mohamadi, A., Ghorbanpour, M., & Ghafarzadegan, R. (2013). Effects of exogenous salicylic acid application on growth, metabolic activities and essential oil composition of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Journal of Medicinal Plants*, 12(47), 70-82. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2013.12.47.8.3 [In Persian].

Siddiqui, M. H., Alamri, S., Al-Khaishany, M. Y., Khan, M. N., Al-Amri, A., Ali, H. M., & Alsahli, A. A. (2019). Exogenous melatonin counteracts NaCl-induced damage by regulating the antioxidant system, proline and carbohydrates metabolism in tomato seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 353. https://doi.org/10.3390/ijms20020353.

Taarit, M. B., Msaada, K., Hosni, K., & Marzouk, B. (2011) Physiological changes and essential oil composition of clary sage (*Salvia sclarea* L.) rosette leaves as affected by salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 153-162. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0532-8

Talaat, N. B., & Shawky, B. T. (2022). Synergistic effects of salicylic acid and melatonin on modulating ion homeostasis in salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants by enhancing root H^+-pump activity. *Plants*, 11(3), 416. https://doi.org/10.3390/plants11030416

Ur-Rahman, S., Xuebin, Q., Zhao, Z., Du, Z., Imtiaz, M., Mehmood, F., & Ashraf, M. N. (2021). Alleviatory effects of Silicon on the morphology, physiology, and antioxidative mechanisms of wheat (*Triticum aestivum* L.) roots under cadmium stress in acidic nutrient solutions. *Scientific Reports*, 11(1), 1958. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80808-x

Zhang, L., Li, X., Li, X., Wei, Z., Han, M., Zhang, L., Qi, Y., Ren, S., Zhao, B., & Guo, Y. D. (2016). Melatonin improved anthocyanin accumulation by regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. *Frontiers in Plant Science*, 7, 197. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00197

Zhang, Z., Huber, D. J., & Rao, J. (2013). Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 58-64. http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.003

Zheng, X. L., Tian, S. P., Xu, Y., & Li, B. Q. (2005). Effects of exogenous oxalic acid on ripening and decay incidence in mango fruit during storage at controlled atmosphere. *Journal of Fruit Science*, 22(4), 351-355. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.01.016