

Effect of Salicylic Acid on Morphological, Phytochemical, and Photosynthetic Pigment Responses of Ornamental Kale under Salinity Stress (Sodium Chloride)

Parvin Asadi¹, Soroush Tafakhri¹, Somaye Tayefeh^{1,2*}, Hossein Moradi¹ and Fateme Sohrabi¹ 

1- Department of Horticultural Sciences, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran

2- Department of Agricultural Engineering, Mahrat National University, Tehran, Iran

* Corresponding author, Email: Somaye.tayefeh@ut.ac.ir

Abstract

Objective: This study aimed to investigate the effects of salicylic acid (SA) responses of ornamental kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) under salinity stress.

Research Background: Previous studies have demonstrated that salicylic acid, as a plant growth regulator, effectively mitigates the detrimental effects of abiotic stresses including salinity in various plants; however, limited information is available regarding its impact on ornamental plants, particularly ornamental kale.

Methods: This study was conducted as a factorial design in a completely randomized block with three replications in a greenhouse at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Two factors were evaluated: salicylic acid concentrations (0, 100, and 200 mgL⁻¹) and salinity levels (0, 2.5, and 5.12 dSm⁻¹). Fifty-four ornamental kale seedlings at the four-leaf stage were planted in 27 pots containing a mix of loamy soil, perlite, and coco peat. Salicylic acid was applied via foliar spraying five times (every three days) over two weeks, followed by salinity stress induced using sodium chloride solution over two weeks. Plants were nourished with Hoagland's solution. Measured traits included morphological characteristics, physiological parameters and phytochemical properties assessed using standard protocols.

Results: The results showed that Salinity alone negatively affected growth traits, particularly reducing leaf number. However, salicylic acid significantly mitigated these adverse effects. At 2.5 dSm⁻¹ salinity, 200 mg/L salicylic acid increased chlorophyll a by 195% and chlorophyll b by 65% compared to the control. At 5.12 dSm⁻¹ salinity, 100 mgL⁻¹ salicylic acid improved leaf turgor weight by 20% and significantly enhanced antioxidant capacity. Total phenol and flavonoid contents also increased significantly.

Conclusion: Salicylic acid enhances moderate salinity tolerance in ornamental kale by improving photosynthesis, maintaining water balance, and increasing antioxidant compounds. Concentrations of 100 and 200 mgL⁻¹ were most effective at 2.5 dSm⁻¹ salinity. Application of this growth stimulant is recommended for developing sustainable green spaces in moderately saline areas.

Keywords: Ornamental cabbage, salicylic acid, Salinity stress.

How to Cite: Shirmardi, M., Hayatzadeh, M., Ghaneei-Bafghi, M.J., Hemmat, N., Fooladi Doghzloo, M., 2026. Soil fertility assessment in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivated fields (case study: Bahabad city, Yazd province). J. Soil Plant Interact. 17(1), 1–17 (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.17.1.21812>

تأثیر تیمار سالیسیلیک اسید بر پاسخ‌های مورفولوژیک، فیتوشیمیایی و رنگیزه‌های فتوسنتزی کلم زینتی تحت تنش شوری (سدیم کلرید)

پروین اسدی^۱، سروش تفاخری^۱، سمیه طایفه^{۱*}، حسین مرادی^۱ و فاطمه سهرابی^۲

۱- گروه علوم باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- مدرس، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: Somaye.tayefeh@ut.ac.ir

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف بررسی اثر سالیسیلیک اسید (SA) بر تحمل کلم زینتی (*Brassica oleracea* var. *acephala*) به تنش شوری انجام شد. **پیشینه پژوهش:** مطالعات پیشین نشان داده‌اند که سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش شوری در گیاهان مختلف مؤثر بوده، اما تأثیر آن بر گیاهان زینتی به‌ویژه کلم زینتی کمتر بررسی شده است.

روش‌ها: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. فاکتورها شامل سه سطح سالیسیلیک اسید (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سه سطح شوری (۰، ۲/۵ و ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. نشاءهای کلم زینتی در گلدان کشت شده و تیمارهای سالیسیلیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی و شوری با سدیم کلرید اعمال شد. صفات مورفولوژی، فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی اندازه‌گیری شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که شوری، رشد گیاه به‌ویژه تعداد برگ، را کاهش داد، اما سالیسیلیک اسید این اثرات را تعدیل کرد. در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، سالیسیلیک اسید (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) کلروفیل a و b را به‌ترتیب ۱۹۵ درصد و ۶۵ درصد افزایش داد. در شوری ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) وزن تورژسانس برگ را ۲۰٪ و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشید. محتوای فنل و فلاونوئید نیز افزایش یافت.

نتیجه‌گیری کلی: سالیسیلیک اسید با بهبود فتوسنتز، حفظ تعادل آبی و افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، تحمل کلم زینتی به شوری متوسط را افزایش می‌دهد. غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین اثربخشی را داشتند. کاربرد این محرک برای توسعه فضای سبز پایدار در مناطق با شوری متوسط توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سالیسیلیک اسید، تنش شوری، کلروفیل، کلم زینتی، وزن اشباع برگ.

کلم زینتی (*Brassica oleracea* var. *Acephala*) از خانواده شنبو (*Brassicaceae*) به دلیل تنوع رنگ برگ‌ها، فرم جذاب و دوام اندام‌های هوایی، یکی از گیاهان زینتی پرکاربرد در طراحی فضای سبز شهری و باغ‌ها محسوب می‌شود. این گیاه به دلیل مقاومت بالا به شرایط نامساعد محیطی، از جمله سرما و خشکی، به‌ویژه در فصل زمستان که گزینه‌های گیاهی محدود هستند، جایگاه ویژه‌ای در زیباسازی فضاهای شهری دارد (Taqi zadah and solgi, 2014). کلم زینتی گیاهی دوساله است، اما معمولاً به‌صورت یک‌ساله کشت می‌شود و توانایی تحمل تنش‌های محیطی مختلف، آن را به گزینه‌ای ایده‌آل برای استفاده در مناطق با اقلیم‌های چالش‌برانگیز تبدیل کرده است (Shannon and Grieve, 1999).

شوری خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاهان را در سراسر جهان محدود می‌کند. این تنش ناشی از تجمع بیش از حد نمک‌های محلول چون سدیم کلرید، کلسیم کلرید و منیزیم کلرید در خاک یا آب آبیاری است که با ایجاد تنش اسمزی، سمیت یونی و اختلالات تغذیه‌ای، فرایندهای فیزیولوژیک گیاه مانند فتوسنتز، تنفس، سنتز پروتئین و متابولیسم رنگدانه‌ها را مختل می‌کند (Sharma, 2023; Arora, 2019). شوری به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند بخش‌های وسیعی از ایران، چالشی جدی برای کشاورزی پایدار ایجاد می‌کند، زیرا باعث کاهش عملکرد محصول، محدودیت زمین‌های قابل کشت و کاهش دسترسی به منابع آب با کیفیت می‌شود (FAO, 2020). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که شوری می‌تواند با کاهش جذب آب و عناصر غذایی، رشد گیاهان را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد (Yeo et al., 1999).

برای مقابله با اثرات منفی شوری، استفاده از ترکیبات محرک زیستی مانند سیلیسیم (Si) و سالیسیلیک اسید (SA) به‌عنوان راهکاری مؤثر مورد توجه قرار گرفته است. سیلیسیم به‌صورت سیلیسیک اسید (H_4SiO_4) در خاک وجود دارد و با تقویت دیواره سلولی، بهبود یکپارچگی غشاها و افزایش مقاومت به

تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، سمیت فلزات سنگین، عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Brahma et al., 2020). سالیسیلیک اسید نیز با تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیک، مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش اثرات سمیت یونی، به گیاهان کمک می‌کند تا در شرایط تنش بهتر عمل کنند (Shwethakumari et al., 2021). مطالعات جدیدتر نشان می‌دهند که این ترکیبات، به‌ویژه سالیسیلیک اسید، با فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ و افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تحمل به شوری مانند ژن‌های تولید پروتئین‌های LEA و آنتی‌اکسیدان‌ها، استرس اکسیداتیو را کاهش و افزایش تعادل یونی در گیاهان مختلف را بهبود می‌بخشند. همچنین، تحقیقات اخیر بر نقش این اسیدها در حفظ یکپارچگی غشا، افزایش تجمع متابولیت‌های سازگار (مانند پرولین) و بهبود عملکرد فتوسنتز در شرایط شوری تأکید دارند. این نتایج، کاربرد این ترکیبات را به‌عنوان محرک‌های زیستی امیدوارکننده برای کاهش خسارات ناشی از شوری در کشاورزی معرفی می‌کنند (Rezaee et al., 2022). قنبری و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که پیش تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری موجب بهبود جوانه‌زنی، تربچه شد. عبدالمحمدی و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش کردند تیمار سالیسیلیک اسید بر شب بو در شرایط تنش شوری توانست منجر به افزایش صفات افزایش تمام پارامترهای رشد، میزان پروتئین، محتوای نسبی آب برگ گردد.

با توجه به رشد جمعیت جهانی و افزایش فشار بر منابع آب و خاک، کشاورزی پایدار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت فزاینده‌ای یافته است (FAO, 2020). استفاده نادرست از منابع آب با کیفیت پایین، به‌ویژه در سیستم‌های کشت بدون خاک، می‌تواند منجر به تجمع املاح مضر و تشدید تنش شوری شود (Miceli et al., 2003). در این راستا نوآوری این پژوهش را می‌توان تمرکز بر گیاه زینتی کلم نسبت به گونه‌های زراعی رایج اشاره کرد که کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و ارزش اقتصادی این گیاه در فضای سبز و شهری، لزوم بررسی تحمل به شوری را پررنگ می‌کند. از آنجا که معیار اصلی کیفیت گیاهان زینتی،

ویژگی‌های ظاهری و رنگ آن‌هاست، بررسی همزمان تغییرات رنگی‌ها و صفات مورفولوژیک، نوآوری کاربردی مستقیمی برای صنعت گل و گیاهان زینتی دارد. هدف نهایی این پژوهش، می‌تواند ارائه یک دستورالعمل و بهینه برای استفاده از سالیسیلیک اسید به منظور حفظ شادابی و رنگ بندی کلم زینتی در شرایط خاک‌ها یا آب‌های با شوری متوسط ناشی از سدیم کلراید باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تیمارهای سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، و عملکرد کلم زینتی تحت شرایط تنش شوری انجام شد. این مطالعه به دنبال ارائه راهکارهایی برای بهبود بردباری این گیاه زینتی در برابر تنش شوری و ارتقای کاربرد آن در فضای سبز شهری در مناطق با محدودیت‌های محیطی است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با مشخصات جغرافیایی (عرض جغرافیایی: ۳۶/۳۳۳۴۳۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی: ۵۳/۰۶۲۸۰۵ درجه شرقی) و گلخانه با پنجره باز در بازه زمانی دو ماه (۱۵ مهر تا ۱۵ آذر)، متوسط دمای روز ۱۵ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد و دمای شب ۷ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۹۰ درصد، انجام شد. دو فاکتور شامل سالیسیلیک اسید (۰، ۱۰۰، و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و تنش شوری سدیم کلراید (۰، ۲/۵، و ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بررسی شدند که سطوح انتخابی بر اساس مطالعات علمی معتبر انجام گرفت. ۵۴ نشای کلم زینتی (*Brassica oleracea* var. *Acephala*) در مرحله چهار برگی که در بستر ۶۰ درصد کوکوپیت و ۴۰ درصد پرلیت رشد یافته بودند، تهیه و به صورت جفتی در ۲۷ گلدان پلاستیکی مشکی با قطر ۲۰ سانتی‌متر (حاوی ۵۰ درصد خاک با بافت لوم ۳۰ درصد پرلیت و ۲۰ درصد کوکوپیت که دارای هدایت الکتریکی یک دسی‌زیمنس بر متر بود) کاشته شدند. پس از یک ماه، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در پنج نوبت (هر سه روز یکبار) طی دو هفته انجام شد. تنش

شوری با محلول سدیم کلرید نیز پس از دو هفته، در پنج نوبت طی دو هفته همراه با آب آبیاری با غلظت‌های ذکر شده اعمال شد. برای اعمال شوری ابتدا میزان غلظت دسی‌زیمنس بر متر تبدیل به پی‌پی‌ام (میلی‌گرم بر لیتر) شد و بعد مقدار مورد نظر در هر لیتر آب آبیاری حل گردید و به هر گلدان ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول آب و سدیم کلرید داده شد. همچنین برای تغذیه گیاه از محلول هوگلند استفاده شد.

(۱) $EC = \text{برحسب دسی‌زیمنس بر متر} \times ۰.۰۶۴ = \text{ppm}$ نمک
EC: شوری برحسب دسی‌زیمنس بر متر است، ppm: میلی‌گرم بر لیتر نمک

صفات مورد بررسی شامل ویژگی‌های مورفولوژیک (ارتفاع، تعداد برگ، وزن خشک)، فیزیولوژیک (محتوای آب نسبی، هدایت روزنه‌ای)، و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها) بودند.

محتوای نسبی آب برگ: به روش ریچی و همکاران (Banchio et al., 2008) با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری شد:

$$RWC = (Fw - Dw / Sw - Dw) \times 100 \quad (2)$$

که در آن Fw: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری؛ Dw: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون؛ Sw: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر می‌باشد.

صفات فتوسنتزی: جهت اندازه‌گیری رنگی‌ها، از حلال متانول به روش (Carter and Knapp, 2001) استفاده شد. به ازای هر نمونه یک لوله فالکون به حجم ۱۵ سی‌سی استفاده شد و هرکدام به مقدار ۱۰ سی‌سی متانول ۹۹ درصد اضافه گردید. برگ مناسب انتخاب و بلافاصله به لوله حاوی متانول انتقال یافت و در محیط تاریک و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد. جذب عصاره در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Uv-1800PC، شیماتزو ژاپن) خوانده شده و از طریق معادله (۲) ارائه شده توسط (Lichtenthaler and Buschmann, 2001) محاسبات انجام شد.

$$Ca(\mu g/ml) = 16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4} \quad (3)$$

(LSD) در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام شد. نمودارها نیز با نرم افزار Microsoft Excel 2021 ترسیم گردیدند.

نتایج و بحث صفات مورفوفیزیولوژیک

تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که اثر متقابل شوری و تیمار بر صفات وزن خشک برگ، وزن تر برگ، طول ریشه، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد و بر صفات وزن اشباع برگ، وزن تر شاخه و وزن خشک شاخه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، اما بر ارتفاع گیاه و تعداد برگ اثر معنی داری مشاهده نشد. اثر شوری بر تعداد برگ و وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد و بر وزن خشک برگ، وزن اشباع برگ، وزن تر و وزن خشک شاخه و وزن تر ریشه در سطح یک درصد اختلاف معنی داری ایجاد کرد، ولی بر ارتفاع گیاه، وزن تر برگ و اثر معنی داری نداشت. اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر وزن تر شاخه، وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد و بر وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی دار بود، اما بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر برگ، وزن اشباع برگ، وزن خشک شاخه و اختلاف معنی داری ایجاد نکرد (جدول ۱). این یافته بیانگر آن است که پاسخ کلم زینتی به سالیسیلیک اسید به شدت وابسته به سطح تنش شوری است و نمی توان اثر این محرک را مستقل از شرایط محیطی ارزیابی کرد.

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اعمال شده اثر معنی داری بر ارتفاع گیاه نداشتند (جدول ۱). یکی از دلایل احتمالی این امر می تواند مقاومت ژنوتیپی رقم مورد استفاده به تنش شوری باشد. ارقام مختلف گیاهان به دلیل تفاوت های ژنوتیپی، پاسخ های متفاوتی به تنش شوری نشان می دهند (Munns and Tester, 2008). علاوه بر این، عدم تأثیر معنی دار سالیسیلیک اسید ممکن است به دلیل استفاده از سطح پایین این ماده در آزمایش باشد که نتوانسته است اثرات منفی تنش شوری را به طور مؤثری جبران کند. مطالعات قبلی نیز نتایج مشابهی

$$C_b(\mu\text{g/ml}) = 34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2} \quad (4)$$

$$C_{(X+C)}(\mu\text{g/ml}) = (1000 A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b) / 221 \quad (5)$$

کلروفیل $Ca = a$

کلروفیل $Cb = bA$ = جذب عصاره در طول موج های مختلف

$C(x+c)$ = کاروتنوئیدها (گزانتوفیل + کاروتن)

$$C(\text{total})(\mu\text{g/ml}) = Ca + Cb \quad (6)$$

$C(\text{total})$ = کلروفیل کل

فعالیت آنتی اکسیدانی: به منظور اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی این گیاه، از روش DPPH استفاده شد. جذب نوری نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Uv-1800PC، شیماتزو ژاپن) محاسبه شد (افشاری و رحیم ملک، ۱۳۹۶).

$$\text{Inhibition (\%)} = [(Ac - As) / Ac] * 100 \quad (7)$$

$\text{Inhibition (\%)} =$ درصد مهار

$AC =$ جذب نوری محلول شاهد؛ $AS =$ جذب نوری محلول آزمایشی

فنل کل: جهت سنجش محتوی فنل کل از معرف فولین سیوکالتیو استفاده شد. به این صورت که عصاره برگ گرفته شده و در نهایت جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Uv-1800PC، شیماتزو ژاپن) اندازه گیری شد و میزان فنل کل بر اساس میزان معادل میلی گرم اسیدگالیک در گرم عصاره محاسبه شد (Slinkard and singleton., 1977).

فلاونوئید: اندازه گیری فلاونوئید کل برگ از طریق آلومینیوم کلرید و استات پتاسیم انجام شد و در طول موج ۴۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Uv-1800PC، شیماتزو ژاپن) قرائت شد. در نمونه شاهد نیز به جای عصاره، از متانول خالص استفاده شد (چانگ و همکاران، ۲۰۰۲). برای رسم منحنی کالیبراسیون از کوئرسیتین به عنوان استاندارد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری: آنالیز آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹.۴) انجام شد. طرح آزمایشی به کار رفته، پس از انجام تجزیه واریانس (ANOVA)، با معنی دار بودن اثر تیمارها، مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار

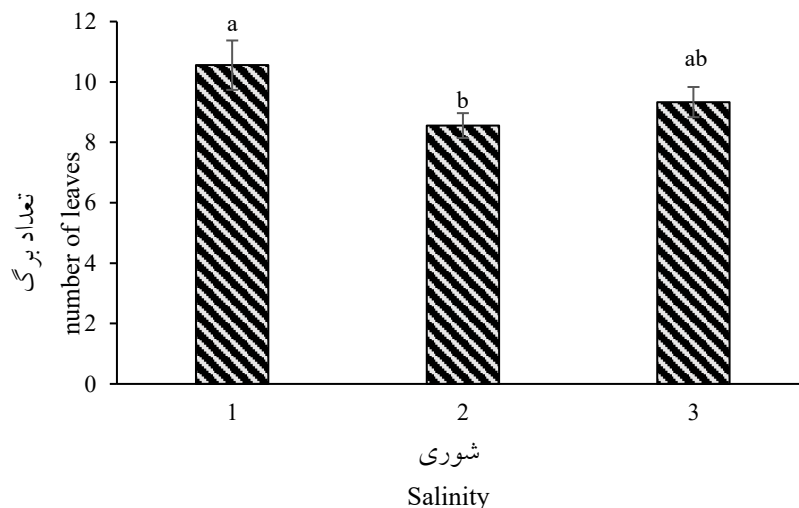
جدول ۱. جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیک

Table 1. Analysis of variance (Mean Square) of morphophysiological traits

وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک شاخه	وزن تر شاخه	وزن اشباه برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	تعداد برگ	ارتفاع گیاه	درجه آزادی	منابع تغییرات S.O.V
Root dry Weight	Root fresh Weight	Branch dry weight	Branch fresh weight	Leaf saturation weight	Fresh Weight of Leaves	Dry Weight of Leaves	Number of Leaves	Plant Height	Df	
0.22*	2.02**	0.3**	2.08**	0.14**	0.1 ^{ns}	0.01**	9.14*	3.73 ^{ns}	2	تنش شوری Salinity stress
0.63*	1.44*	0.02 ^{ns}	1.75*	0.014 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.003**	1.03 ^{ns}	0.14 ^{ns}	2	سالیسیلیک اسید Acidsalicylic
0.11*	0.65*	0.55**	6.35**	0.01**	0.05*	0.005*	1.59 ^{ns}	1.62 ^{ns}	4	شوری×سالیسیلیک اسید Salinity stress* Acidsalicylic
0.03	0.15	0.008	0.33	0.005	0.006	0.0001	2.39	1.12	16	خطا Error
21	19	8.6	12.85	11.78	13.69	8.4	16.32	11.82		ضریب تغییرات (%) C.V.(%)

*, **, و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح یک و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی دار

and ns indicate statistical significance at the 1% and 5% levels, and no significant difference; respectively **, *, and ns



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر ساده تنش شوری بر تعداد برگ زینتی
Figure 1. Comparison of the mean simple effect of salinity stress on the number of leaves of ornamental cabbage

شوری باعث کاهش پارامترهای رشدی، از جمله تعداد برگ و ارتفاع گیاه، در مقایسه با گیاهان شاهد می‌شود (Ghoulam et al., 2001). یکی از دلایل اصلی این کاهش، اثر تنش شوری بر پتانسیل اسمزی خاک است. تنش شوری با افزایش غلظت یون‌هایی مانند Na^+ و Cl^- در خاک، پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد و جذب آب را برای گیاه دشوار می‌کند، حتی در شرایطی که خاک مرطوب است. این امر منجر به تنش اسمزی می‌شود که تورژسانس سلولی را کاهش داده و فرآیندهای رشدی مانند تقسیم و طول شدن سلول‌ها را مختل می‌کند. در کلم زینتی (*Brassica oleracea* var. *acephala*)، این مکانیسم می‌تواند به کاهش رشد برگ‌ها و ساقه‌ها منجر شود (Munns and Tester, 2008).

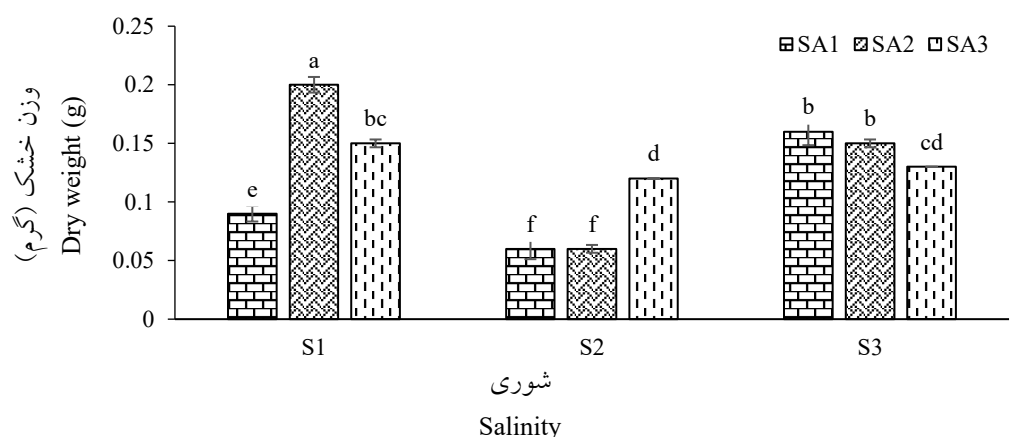
وزن تر و خشک برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که تیمار سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن خشک گیاه را به میزان ۵۵ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش داد (شکل ۲). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن تر برگ در شرایط بدون تنش شوری (شوری صفر) و با کاربرد سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌دست آمد (شکل ۳). این یافته نشان

گزارش کرده‌اند. سبحانی و همکاران (۱۳۹۰) اثر سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۱ و ۰/۱ میلی‌مولار) را بر گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری (۰/۵، ۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطوح بالای شوری (۶ دسی‌زیمنس بر متر)، ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و کاربرد سالیسیلیک اسید تنها در سطوح پایین‌تر شوری (۰/۵ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشت. این یافته نشان‌دهنده محدودیت اثربخشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری شدید است.

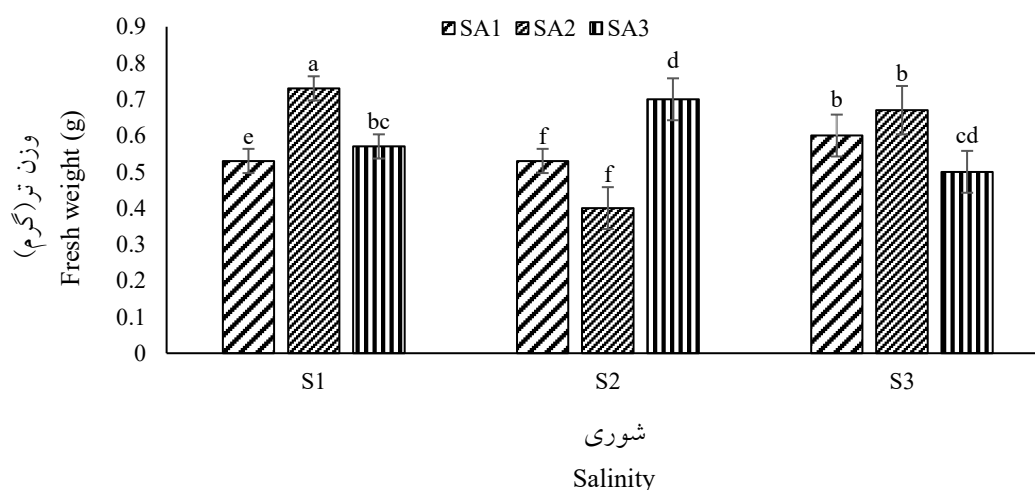
تعداد برگ

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد برگ در گیاهان شاهد (بدون تنش شوری) مشاهده شد (شکل ۱). اگرچه تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار تعداد برگ شد (شکل ۱)، اما ارتفاع گیاه تحت تأثیر معنی‌دار تیمارها قرار نگرفت. این مشاهده نشان می‌دهد که در کلم زینتی، تعداد برگ نسبت به ارتفاع گیاه شاخص حساستری برای ارزیابی تنش شوری است. خوشبخت و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که پارامترهای رشدی لوبیا تحت تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافته است. به‌طور مشابه، پژوهش‌هایی روی چغندر قند نشان داده‌اند که تنش



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک برگ

Figure 2. Comparison of the average interaction effect of salinity stress and salicylic acid on leaf dry weight

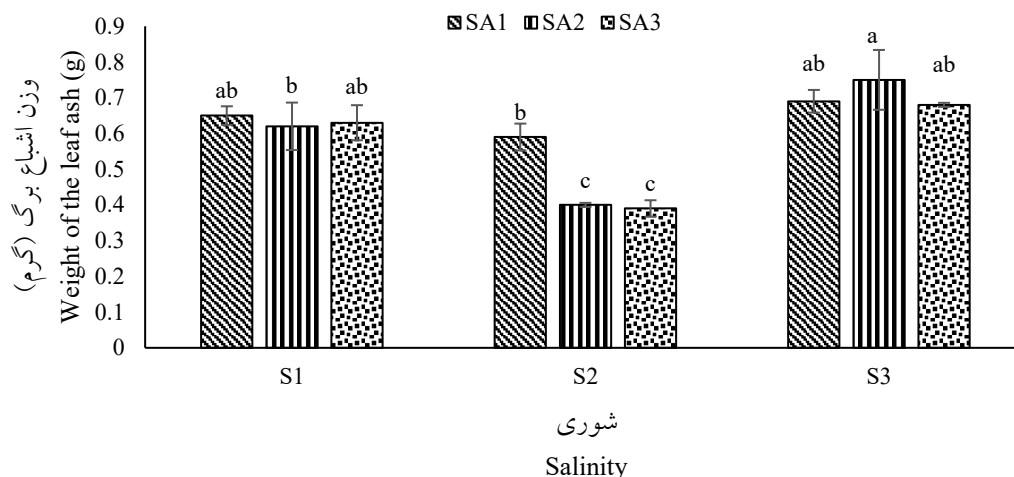


شکل ۳. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن تر برگ کلم زینتی

Figure 3. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on fresh leaf weight of ornamental cabbage

وزن تر و خشک برگ در گیاه کلم زینتی شد. در مطالعه‌ای روی گل جعفری (*Tagetes erecta*) نشان دادند که بیشترین وزن تر و خشک برگ در تیمار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (Abdi et al., 2009). رنجبر و همکاران (۱۳۹۶) نیز در پژوهشی روی گیاه ختمی زینتی گزارش کردند که تیمار سالیسیلیک اسید منجر به افزایش وزن تر و خشک برگ شد. به طور مشابه، خوشبخت و همکاران (۱۳۹۱) دریافتند که در گیاه لوبیا سبز تحت تنش شوری، بیشترین وزن تر و خشک برگ در تیمار سالیسیلیک اسید به دست آمد.

می‌دهد که سالیسیلیک اسید حتی در غیاب تنش نیز پتانسیل افزایش زیست توده را دارد. این افزایش را می‌توان به سه مکانیسم اصلی نسبت داد: نخست، بهبود کارایی فتوسنتز از طریق حفاظت از ساختار کلروپلاست و افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو (Hayat et al., 2010)؛ دوم، کاهش تخریب پروتئین‌های غشایی و حفظ یکپارچگی سلول در شرایط تنش اسمزی (Gunes et al., 2007)؛ سوم، القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی که پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را مهار می‌کنند (Palma et al., 2009). مرتضوی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش



شکل ۴. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن اشباع برگ کلم زینتی
Figure 4. The alternating effect of salinity stress and salicylic acid on the leaf weight of ornamental cabbage.

وزن اشباع برگ

در شوری ۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید وزن اشباع برگ را ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۴). وزن اشباع برگ که معرف ظرفیت نگهداری آب در بافت است، در شرایط تنش شدید شوری به شدت کاهش می‌یابد. افزایش این صفت تحت تیمار سالیسیلیک اسید نشان می‌دهد که این ترکیب با کاهش نشت یونی و تقویت خواص الاستیسیته دیواره سلولی، توانایی بافت را برای جذب و نگهداری آب بهبود می‌بخشد. محققان دریافته‌اند که در شرایط تنش شوری در گیاه لوبیا محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت (Palma et al., 2009). خوشبخت و همکاران (۱۳۹۱) دریافته‌اند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش نسبی آب برگ شد. از دلایل این موضوع این طور بیان شده این هورمون از کاهش اکسین و سیتوکنین در گیاهان جلوگیری کرده و منجر به تقسیمات سلولی و افزایش فتوسنتز می‌گردد (Hayat et al., 2010).

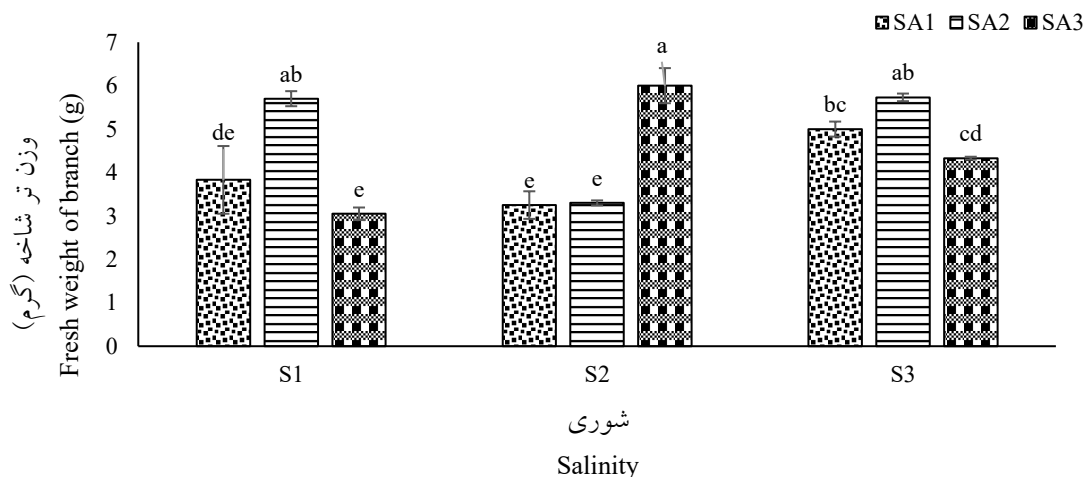
وزن تر و خشک شاخه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن تر شاخساره در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۵).

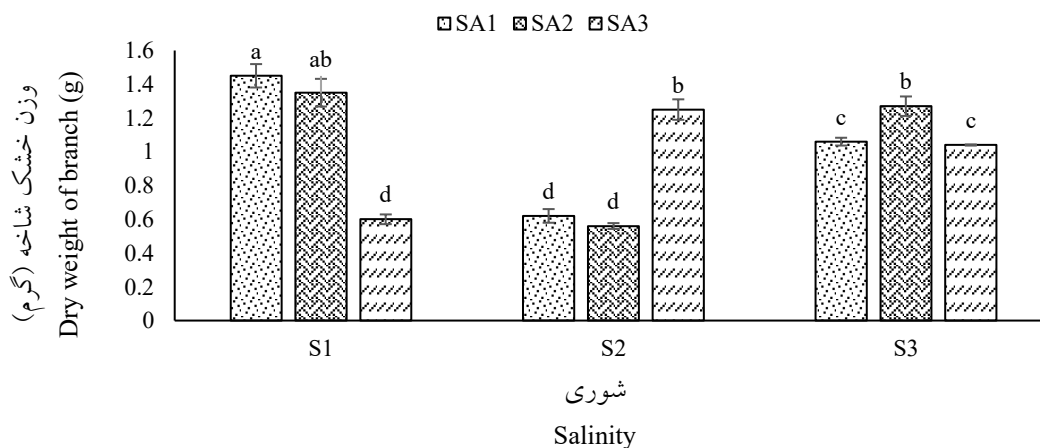
همچنین، مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که بیشترین وزن خشک شاخه در گیاهان تیمارنشده با سالیسیلیک اسید در شرایط بدون تنش شوری (شوری صفر) به دست آمد (شکل ۶). مطالعات متعددی تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید را بر وزن تر و خشک شاخساره تأیید کرده‌اند. گوئیرز و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره در گیاه سویا شد. به طور مشابه، خوشبخت و همکاران (۱۳۹۱) دریافته‌اند که کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه سویا تحت تنش شوری منجر به بهبود زیست‌توده شاخساره شد. همچنین، پژوهشی دیگر نشان داد که سالیسیلیک اسید وزن تر و خشک شاخساره گیاه ذرت را در شرایط تنش شوری افزایش داد (Gunes et al., 2007). افزایش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه در شرایط تنش شوری می‌تواند به نقش حفاظتی سالیسیلیک اسید نسبت داده شود. این ماده با تقویت غشاهای سلولی، کاهش نشت یونی، و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تحمل گیاه به تنش شوری را بهبود می‌بخشد. همچنین، سالیسیلیک اسید با بهبود فرآیندهای فتوسنتزی و حفظ تورژسانس سلولی به افزایش زیست‌توده گیاه کمک می‌کند.

وزن تر و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر ریشه



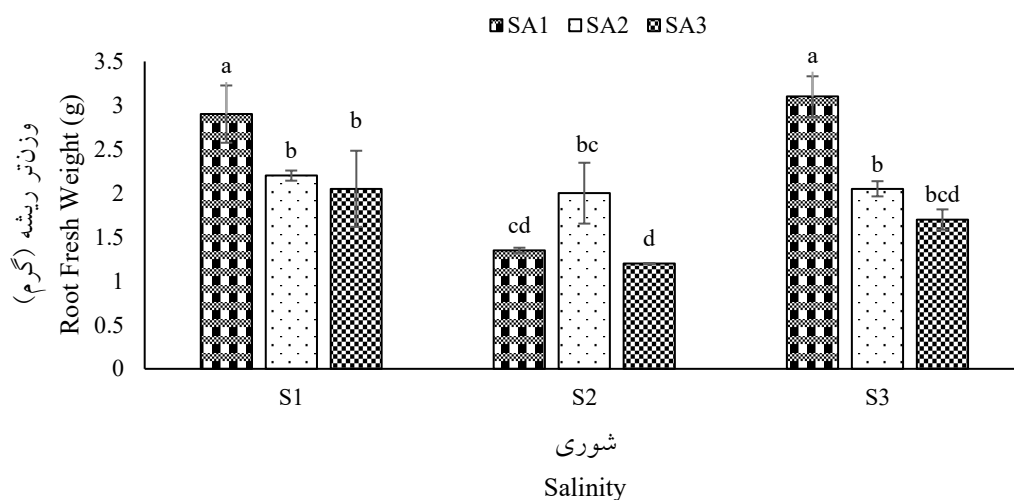
شکل ۵. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن تر شاخه کلم زینتی
Figure 5. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on fresh weight of ornamental cabbage shoots



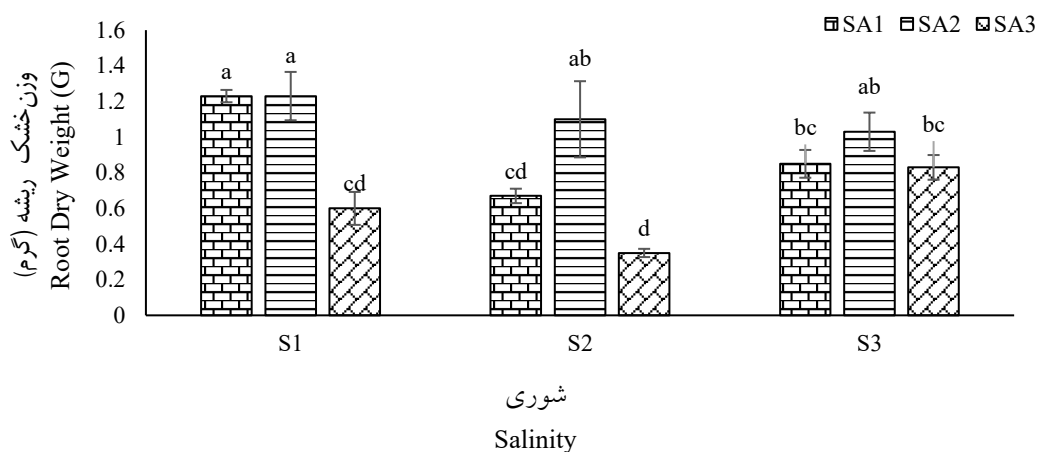
شکل ۶. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک شاخه کلم زینتی
Figure 6. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on dry weight of ornamental cabbage shoots

سالیسیلیک اسید وزن تر و خشک ریشه را در گیاهان ریحان و مرزنجوش افزایش داده است (Abdel et al., 2006). پژوهشگران گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه در گل جعفری شده است (Abdi et al., 2009). نتایج این مطالعات حاکی از آن است که سالیسیلیک اسید می تواند وزن تر و خشک ریشه را افزایش دهد. از جمله دلایل احتمالی این اثر می توان به نقش سالیسیلیک اسید در حفظ تورژسانس سلولی تحت تنش، کاهش تنفس سلولی در بافت ها و اثرات محافظتی این ماده اشاره کرد

در گیاهان تیمارنشده با سالیسیلیک اسید در سطح شوری ۵/۱۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. این گیاهان از نظر آماری با گیاهان تیمارنشده در سطح شوری صفر درصد در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۷). همچنین، مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) در سطح شوری صفر درصد به دست آمد (شکل ۸). مرتضوی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه در کلم زینتی شد. همچنین، پژوهش های دیگر نشان داده اند که



شکل ۷. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن تر ریشه کلم زینتی
Figure 7. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on fresh weight of ornamental cabbage roots



شکل ۸. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک ریشه کلم زینتی
Figure 8. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on the dry weight of ornamental cabbage roots

نسبت داده شود: سالیسیلیک اسید از طریق چهار بیوسنتز اتیلن در شرایط تنش و تعدیل پاسخ‌های ناشی از آبریزک اسید، الگوی تخصیص منابع را تغییر می‌دهد (Iqbal et al., 2022).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثر متقابل شوری و سالیسیلیک اسید بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر تنش شوری به‌تنهایی بر کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح یک

Ghai et al., 2002; AL-Khassawneh et al., 2006; Bariola (et al., 1999; Herrera-Tuz, 2004

با توجه به نتایج وزن تر شاخه (شکل ۵) و وزن خشک ریشه (شکل ۸) می‌توان دریافت که این الگوی پاسخ متفاوت میان اندام هوایی و ریشه حائز اهمیت است: در شوری ملایم، سالیسیلیک اسید رشد اندام هوایی را به‌طور نسبی بیش‌تر از ریشه تحریک می‌کند، اما در غیاب تنش، تخصیص ماده خشک به ریشه افزایش می‌یابد. از نظر مکانیسم، این پدیده می‌تواند به تنظیم هورمونی

جدول ۲. جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی

Table 2. Analysis of variance (mean square) table of photosynthetic pigment traits

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
S.O.V	Df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid Content
تنش شوری	2	0.19 ^{ns}	0.05 ^{**}	0.07 ^{**}
Salinity stress				
سالیسیلیک اسید	2	0.53 ^{**}	0.06 ^{**}	0.02 ^{**}
Acidsalicylic				
شوری*سالیسیلیک اسید	4	2.3 [*]	0.07 ^{**}	0.04 ^{**}
Salinity stress* Acidsalicylic				
خطا	16	0.06	0.002	0.004
Error				
ضریب تغییرات (%)		17.08	14.37	16.06
CV(%)				

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح یک و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

and ^{ns} indicate statistical significance at the 1% and 5% levels, and no significant difference, respectively * , **

اسید در برابر تخریب کلروفیل شامل موارد زیر است: نخست، مهار فعالیت آنزیم کلروفیل‌از که در شرایط تنش فعال شده و سبب تجزیه کلروفیل می‌شود (Raskin, 1992)؛ دوم، کاهش تجمع اکسیژن منفرد در واکنشگاه فتوسیستم II از طریق افزایش بیان پروتئین‌های D1 و D2 که در ترمیم آسیب‌های نوری نقش دارند (Karlovic et al., 2004)؛ سوم، افزایش فعالیت آنزیم δ-آمینولولینیک اسید دهیدراتاز که آنزیم کلیدی بیوستز کلروفیل است (Ghai et al., 2002).

کاروتنوئید

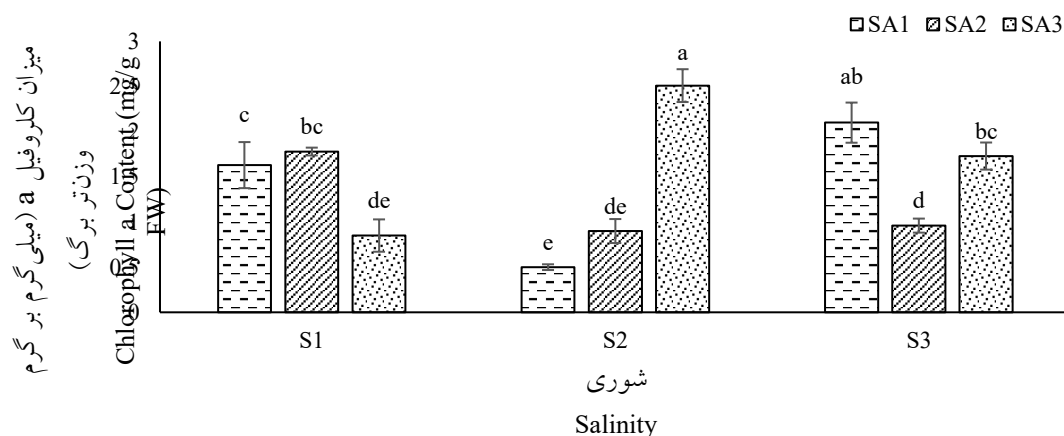
بیشترین میزان کاروتنوئید در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید (۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (شکل ۱۱). غفاری و تدین (۱۳۹۸) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه سویا تحت تنش شوری باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد. افزایش سنتز کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری می‌تواند به نقش محافظتی این رنگ‌دانه‌ها در ساختارهای فتوسنتزی مرتبط باشد. کاروتنوئیدها با خاموش کردن اکسیژن تک‌یاخته (Singlet Oxygen) و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها، به کاهش تنش اکسیداتیو کمک می‌کنند

درصد معنی‌دار بود، اما بر کلروفیل a اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر تمامی صفات مورد بررسی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید) در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری ایجاد کرد (جدول ۲).

کلروفیل a و b

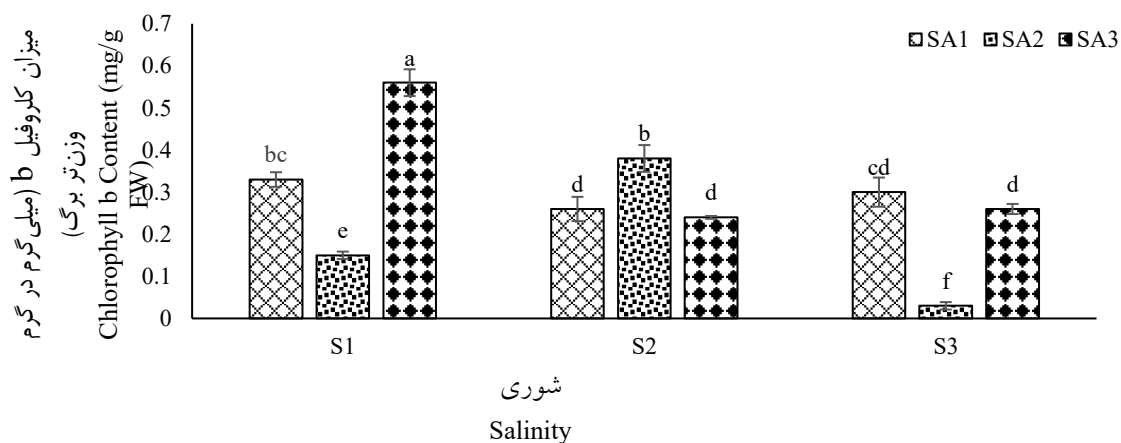
بیشترین میزان کلروفیل a (۱۹۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) و کلروفیل b (۶۵ درصد افزایش) در تیمار ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید و شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

افزایش چشمگیر رنگیزه‌های فتوسنتزی در شوری ملایم و نه در شرایط بدون تنش، نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید لزوماً سنتز کلروفیل را در شرایط بهینه افزایش نمی‌دهد، بلکه عمدتاً از تخریب آن در شرایط تنش جلوگیری می‌کند. این تمایز برای درک نقش واقعی سالیسیلیک اسید حیاتی است. آنچه در پژوهش‌های پیشین به عنوان «افزایش کلروفیل» تفسیر شده، در واقع «کاهش تخریب ناشی از تنش» است. فریدالدین و همکاران (۲۰۰۳) در خردل و مرتضوی و همکاران (۱۳۹۵) در کلم زیتنی نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. مکانیسم‌های حفاظتی سالیسیلیک



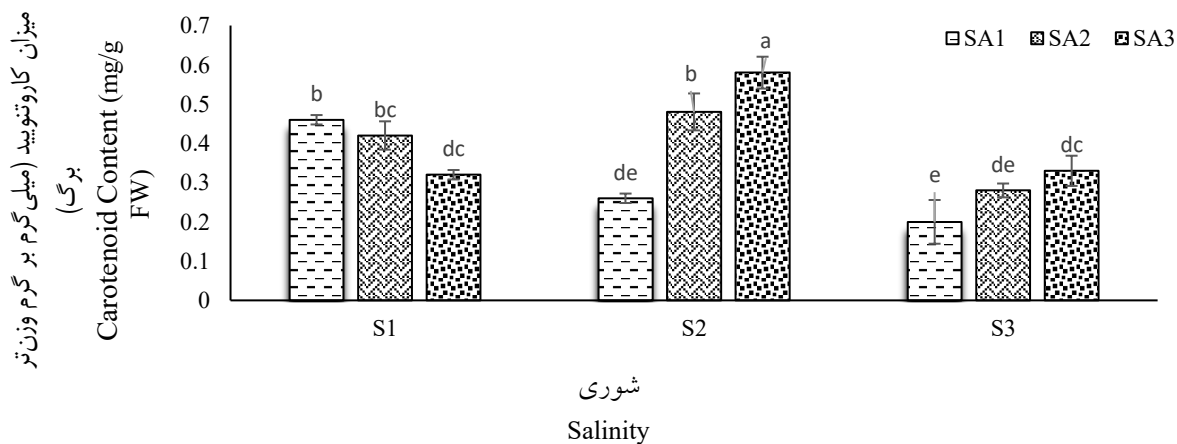
شکل ۹. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل a کلم زینتی

Figure 9. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on chlorophyll a levels in ornamental cabbage



شکل ۱۰. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل b کلم زینتی

Figure 10. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on chlorophyll b content of ornamental cabbage



شکل ۱۱. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر کاروتنوئید کلم زینتی

Figure 11. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on carotenoids of ornamental cabbage

جدول ۳. جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیتوشیمیایی

Table 3. Analysis of variance (mean square) of phytochemical traits

منابع تغییرات	درجه آزادی	ظرفیت آنتی اکسیدانی	فنل	فلاونوئید
S.O.V	Df	Antioxidant Capacity	Phenol	Flavonoid
تنش شوری	2	0.33**	0.006**	0.06**
Salinity stress				
سالیسیلیک اسید	2	0.18**	0.001 ^{ns}	0.009 ^{ns}
Acidsalicylic				
شوری* سالیسیلیک اسید	4	1.91**	0.002*	0.02*
Salinity stress* Acidsalicylic				
خطا	16	0.01	0.001	0.003
Error				
ضریب تغییرات (%)		11.53	26	19
CV (%)				

ns، *، ** به ترتیب معنی داری در سطح یک و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی دار

and ^{ns} indicate statistical significance at the 1% and 5% levels, and no significant difference; respectively *, **

(Koyro, 2006). این ویژگی‌ها نشان‌دهنده اهمیت سالیسیلیک اسید در تقویت سیستم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش شوری است. غفاری و تدین (۱۳۹۸) و دانشمند و همکاران (۱۳۹۳) نیز افزایش کاروتنوئید را تحت تأثیر سالیسیلیک اسید در سویا و گلرنگ تأیید کرده‌اند.

صفات فیتوشیمیایی

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که اثر متقابل شوری و سالیسیلیک اسید بر ظرفیت آنتی اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد و بر صفات فنل و فلاونوئید در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ایجاد کرد. تنش شوری بر تمامی صفات مورد بررسی (ظرفیت آنتی اکسیدانی، فنل و فلاونوئید) در سطح یک درصد اختلاف معنی دار ایجاد نمود. تیمار سالیسیلیک اسید بر ظرفیت آنتی اکسیدانی در سطح یک درصد اختلاف معنی داری ایجاد کرد (جدول ۳).

ظرفیت آنتی اکسیدانی

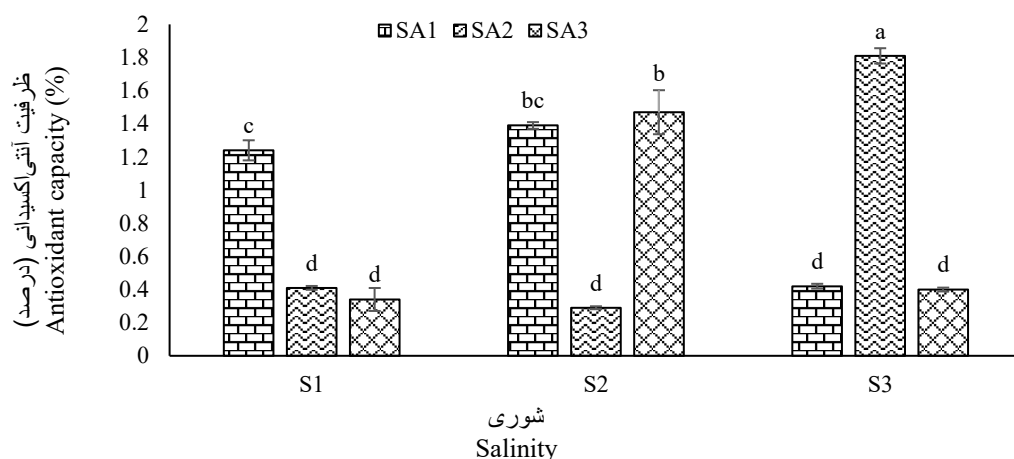
بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی در گیاهانی که در سطح شوری

فنل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش شوری به تنهایی محتوای

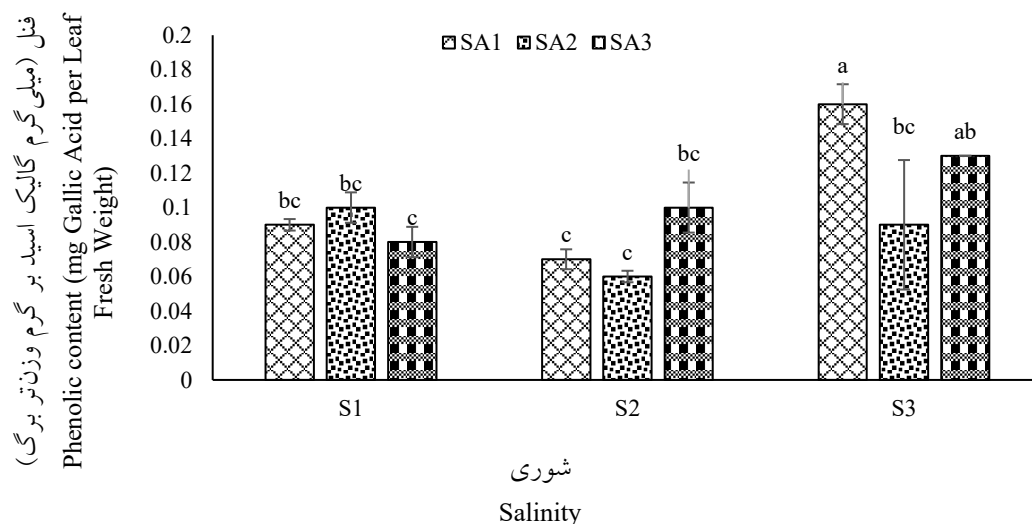
۵/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سالیسیلیک اسید مشاهده شد (شکل ۱۲). قابل تأمل است که اگرچه شوری شدید (۵/۱۲) به تنهایی سبب افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی شد، اما کاربرد سالیسیلیک اسید این ظرفیت را به‌طور معنی داری ارتقا داد. این یافته نشان می‌دهد که سالیسیلیک اسید نه تنها پاسخ دفاعی گیاه را تقویت می‌کند، بلکه آستانه القای این پاسخ‌ها را نیز کاهش می‌دهد.

مکانیسم مولکولی این پدیده به فعال‌سازی پروتئین‌های کیناز وابسته به کسپیم و فاکتورهای رونویسی خانواده WRKY بازمی‌گردد که بیان ژن‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX) و آسکوربات پراکسیداز (APX) را افزایش می‌دهد (Shwethakumari et al., 2021). بیرامزاده و قادر حبیبی (۱۳۹۲) و یوسفیان و همکاران (۱۳۹۱) نیز افزایش فعالیت این آنزیم‌ها را در ذرت و ختمی زینتی گزارش کرده‌اند که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی کامل دارد.



شکل ۱۲. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر ظرفیت آنتی اکسیدانی کلم زینتی

Figure 12. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on the antioxidant capacity of ornamental cabbage

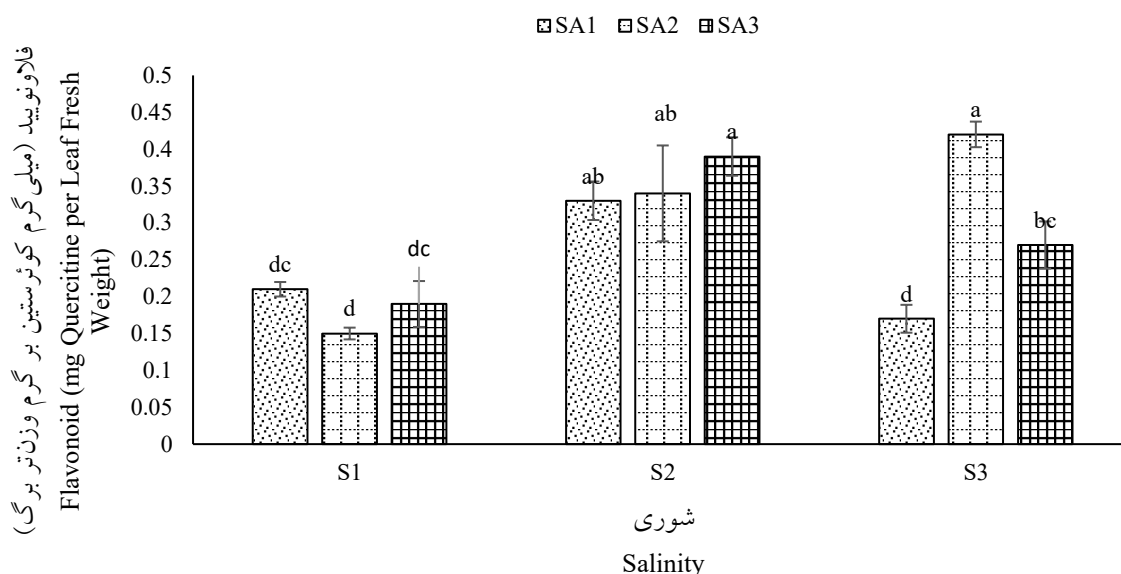


شکل ۱۳. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر فنل کلم زینتی

Figure 13. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on phenolics of ornamental cabbage

سطح آن است. به بیان دیگر، سالیسیلیک اسید «لقاگر» نیست، بلکه «تقویت کننده» پاسخ های القاشده توسط تنش است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید (۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) در جوانه های کلم براکلی تحت تنش شوری، تولید سولفورافان (یک ترکیب فنلی با خواص آنتی اکسیدانی) را افزایش داد. این اثر به فعال سازی مقاومت اکتسابی سیستمیک (SAR) و بهبود متابولیسم فنلی

فنل را ۷۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱۳). این افزایش بیانگر فعال سازی مسیر فنیل پروپانویید به عنوان یک پاسخ عمومی به تنش است. اگرچه اثر اصلی سالیسیلیک اسید بر فنل و فلاونوئید معنی دار نبود، اما اثر متقابل آن با شوری معنی دار گردید. این نکته ظریف اما مهم را آشکار می سازد که سالیسیلیک اسید به عنوان یک محرک، لزوماً در همه شرایط متابولیت های ثانویه را افزایش نمی دهد، بلکه اثر آن وابسته به وجود تنش و



شکل ۱۴. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک اسید بر فلاونوئید کلم زینتی

Figure 14. Interaction effect of salinity stress and salicylic acid on flavonoids of ornamental cabbage

نسبت داده شد. همچنین، در مطالعه‌ای روی گیاه وتیورگرس، کاربرد سالیسیلیک اسید (۱ و ۲ میلی مولار) تحت تنش کم آبی، محتوای فنل کل برگ‌ها را به طور معنی داری افزایش داد، که این اثر در شرایط تنش شدیدتر (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) برجسته تر بود (صفری و همکاران، ۱۳۹۶).

فلاونوئید

بیشترین میزان فلاونوئید به دست آمده در گیاهان رشد یافته در سطح شوری ۵/۱۲ و تیمار شده با سالیسیلیک اسید به میزان ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بود (شکل ۱۴). نتایج مطالعات نشان می دهد که سالیسیلیک اسید می تواند محتوای فلاونوئیدها را در گیاهان تحت تنش افزایش دهد. به عنوان مثال، مطالعه‌ای روی گیاه گندم نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید (۵/۰ میلی مولار) تحت تنش شوری، محتوای فلاونوئیدهای کل را به طور معنی داری افزایش داد که به بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی و کاهش آسیب اکسیداتیو نسبت داده شد (Khalil et al., 2018). در مطالعه دیگری، کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه ریحان تحت تنش شوری، سنتز فلاونوئیدها را از طریق فعال سازی مسیر فنیل پروپانوئید و افزایش

بیان ژن های مرتبط با بیوسنتز فلاونوئیدها (مانند CHS و F3H) تقویت کرد می توان انتظار داشت که سالیسیلیک اسید از طریق تحریک مسیرهای بیوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی (مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز)، محتوای فلاونوئیدها را افزایش دهد. این افزایش می تواند به محافظت از سلول ها در برابر گونه های فعال اکسیژن (ROS) ناشی از تنش شوری کمک کند (Ghasemzadeh et al., 2016).

به طور کلی یافته های این پژوهش نشان می دهد، الگوی پاسخ وابسته به غلظت و سطح تنش است. سالیسیلیک اسید در شوری ملایم (۲/۵ دسی زیمنس بر متر) عمدتاً از طریق حفاظت از دستگاه فتوسنتزی و افزایش رنگیزه ها عمل می کند و منجر به افزایش زیست توده می شود. اما در شوری شدید (۵/۱۲ دسی زیمنس بر متر)، مسیر دفاعی غالب، افزایش متابولیت های ثانویه و ظرفیت آنتی اکسیدانی است. این تغییر راهبرد، از «افزایش رشد» به «بقا و دفاع» با تغییر غلظت بهینه سالیسیلیک اسید همراه است: غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر در شوری ملایم و غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در شوری شدید مؤثرترند.

نتیجه گیری کلی

فراهم می کند.

از منظر کاربردی، این مطالعه سالیسیلیک اسید را به عنوان ابزاری راهبردی برای مدیریت پایدار فضای سبز در مناطق با محدودیت منابع آب باکیفیت معرفی می کند. توانایی این ترکیب در حفظ شادابی و رنگ پذیری کلم زیتنی در شرایط شور، ارزش اقتصادی آن را در صنعت گیاهان زیتنی دوچندان می کند. با این حال، محدودیت اثربخشی در شوری های بسیار بالا نشان می دهد که این راهکار برای دامنه متوسط تنش (تا ۵/۱۲ دسی زیمنس بر متر) قابل توصیه است.

پژوهش های آتی می توانند با تمرکز بر شناسایی مسیرهای مولکولی درگیر در این پاسخ ها، ترکیب این محرک با سایر تعدیل کننده های تنش و آزمون ژنوتیپ های متنوع کلم زیتنی، افق های تازه ای برای به کارگیری این راهکار در کشاورزی شورورزی و زیباسازی شهری بگشایند.

تشکر و سپاسگزاری

تضاد منافع

؟

پژوهش حاضر برای نخستین بار نقش محرک سالیسیلیک اسید را در بهبود همزمان صفات زیباشناختی (رنگ برگ) و فیزیولوژیک کلم زیتنی تحت تنش شوری به صورت سیستماتیک مورد بررسی قرار داد. نوآوری این مطالعه در تلفیق ارزیابی های رنگیزه ای، متابولیت های ثانویه و شاخص های رشدی در یک گیاه زیتنی با کاربرد مشخص در فضای سبز شهری است.

نتایج نشان داد که سالیسیلیک اسید با فعال سازی هماهنگ دو سامانه دفاعی عمل می کند: از یک سو با حفظ یکپارچگی غشا و تورژسانس سلولی، زیرساخت های فیزیولوژیک فتوسنتز را پایدار نگاه می دارد و از سوی دیگر با تحریک بیوسنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه را به طور چشمگیری ارتقا می بخشد. این پاسخ دوگانه، مکانیسمی کارآمد برای کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از شوری فراهم می کند.

برجسته ترین یافته نوآورانه این پژوهش، اثربخشی متمایز سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف تنش است: غلظت های بالاتر (۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) در شوری ملایم کارآمدتر بوده و غلظت پایین تر (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) در شوری شدید عملکرد بهتری نشان می دهد. این الگوی پاسخ وابسته به سطح تنش، امکان بهینه سازی کاربرد این محرک را متناسب با کیفیت آب و خاک

References

منابع مورد استفاده

1. Abdel L., Gharib F. 2006. Effect of salicylic acid on the growth and metabolic activities Biol. Oil content of basil and marjoram. Int. J. Agric. Biol. Eng. 4: 485-492.
2. Abdi G., Hedayat M., Asghari N., 2009. The effect of different concentrations of salicylic acid on the growth and flowering *Tagetes patula*. In: 6th Iranian Horticultural Science Congress. University of Guilan. (In Persian)
3. Abdolmohammadi, S., Omid, J., Hatemkzadeh, A., Hassanpour, M. 2018. Evaluation of salinity stress tolerance in stock plant under treatment with salicylic acid. Appl. Biol., 3(31), 121-131.
4. Afshari, M., Malek-Mahdi, R. 2017. Evaluation of phenolic compounds, essential oil and antioxidant activity of yarrow (*Achillea millefolium* L.) at different growth stages. Plant Proc. and Func., 6: 15-25.
5. AL-Khassawneh N.M., Karam N.S Shibli R.A. 2006. Growth and flowering of black iris (*Iris nigricans* Dinsm.) following treatment with plant growth regulators, Sci. Hort. 107:187-193. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.10.003>
6. Arora, N.K. 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. Environ. Sustainability. 2, 95-96.
7. Banchio, E., Bogino, P. C., Zygadlo, J., Giordano, W., 2008. Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *Origanum majorana* L. Biochem. Syst. Ecol. 36: 766-771. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2008.08.006>.
8. Brahma, R., Perves, A., Mrinal, C. (2020). Silicon nutrition for alleviation of abiotic stress in plants: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(4): 1374-1381.

9. Bariola P.A., Macintosh G.C., Green P.J., 1999. Regulation of s-like ribonuclease levels in *Arabidopsis*. Antisense inhibition of RNS1 or RNS2 elevates anthocyanin accumulation, Plant Physiol, 199:331- 342. <https://doi.org/10.1104/pp.119.1.331>.
10. Biramzadeh, Kh., Habibi, Gh. 2014. Application of salicylic acid in reducing the effects of saline water on ornamental hollyhock. In Proceedings of the First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Shahid Mofatteh, Hamedan.
11. Carter, G. A. Knapp, A. K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. Am. J. Bot., 88(1): 677-684. <https://doi.org/10.2307/2657068>
12. Chang, C., Yang, C., Wen, M. H., Chern, J. C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. J. Food Drug Anal., 10(3): 178-182. Daneshmand, F., Arvin, M. J., Keramat, B., 2014. Changes induced by salicylic acid in safflower under salinity stress. Plant Res. J., 27(2), 204–214. (in Persian)
13. Esfandiari, A., Babalar, M., Hashemi, J., Mostofi, Y., 2014. The effect of salicylic acid and salinity stress on seed germination and health-promoting antioxidants in broccoli sprouts. J. Hortic. Sci., 28(3), 388–398. (In Persian).
14. Fariduddin Q., Hayat S., Ahmad A., 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, Carboxylation deficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica Juncea*. Photosynthetic a, 41: 281-284.
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. The state of food and agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb1447en>.
16. Ghaffari, H., Tadayyon, M. R., 2019. Effect of foliar application of proline and salicylic acid on some physiological indices of soybean under saline irrigation. Plant Proces. Func., 8(29), 125–138.
17. Ghai N., Setiva R. C., Setia, N. 2002. Effect of Paclobutrazol and Salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL-1), Phytomorphol, 52: 83-87.
18. Ghanbari, M., Ghanbarian, A., Javanmardi, Sh., Farzaneh, M., 2011. Effect of salicylic acid pre-treatment on radish seed germination under salinity conditions. Agroecology, 7(3), 45–50. (In Persian). Ghasemzadeh, A., Ashkani, S., Baghdadi, A., Pazoki, A., Jaafar, H. Z., Rahmat, A., 2016. Improvement in flavonoids and phenolic acids production and pharmaceutical quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by ultraviolet-B irradiation. Molecules, 21(9), 1203. <https://doi.org/10.3390/molecules21091203>.
19. Ghoulam, C., F. Ahmed F. Khalid., 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environ. Exp. Bot. 47: 139-150. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(01\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00109-5).
20. Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. G. Bagci N., Cicek. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J. Plant Physiol. 164: 728-736. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.12.009>.
21. Gutierrez-Coronado, M. A., C. Trejo-Lopez A. Larqué-Saavedra. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiol. Biochem. 36: 653-665. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(98\)80003-X](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(98)80003-X).
22. Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environ. Exp. Bot. 68: 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>.
23. Herrera-Tuz R. 2004. Reguladores de crecimiento XXI. Efecto de ácido salicílico en la productividad de papaya maradol (*Carica papaya* L.), Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario, conkal, Yucatan, Mexico.
24. Karlovic K., Vrsek I., Sindrak Z., Zidovec V. 2004. Influence of growth regulators on the height and number of inflorescence shoots in the chrysanthemum cultivar Revert, Agri. Conspectus Scienti., 69: 63-66.
25. Iqbal, S., Wang, X., Mubeen, I., Kamran, M., & Javed, M. T. 2022. Gibberellic acid mitigates salinity stress in plants: An integrative overview. J of Plant Growth R., 41(3), 2032–2049. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10659-5>.
26. Khalil, N., Fekry, M., Bishr, M., El-Zalabani, S., Salama, O., 2018. Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed (*Thymus vulgaris*) L. Plant Physiol. Biochem., 123, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.007>.
27. Khoshbakht, D., Ramin, A., Baghbanha, M. R., 2012. Possibility of reducing the effect of salinity stress in bean using salicylic acid. J. Crop Prod. Processing, 2(5), 189–199. (In Persian).
28. Koyro, H.W., 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). Environ Exp. Bot. 56:136-149. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.00>.
29. Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C., 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UVVIS spectroscopy. Curr. Protoc. , 1(2): 4-3.
30. Miceli, A., A. Moncada, F. D'Anna., 2003. Effect of salt stress in lettuce cultivation. Acta Hort. 609: 371-375.

31. Mortezaei, N., Khodabandloo, F., Azimi, M. H., 2016. Effect of different concentrations of cycocel and salicylic acid on morphophysiological traits of ornamental cabbage. *J. Hort. Sci.*, 3(4), 590–596. (In Persian).
32. Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.
33. Nazarbeigi, A., Nasri, R., 2014. Effect of gibberellic acid and salicylic acid under salinity stress on ion uptake and leaf traits of two rapeseed cultivars. *Ecophysiol. Crops*, 8(1), 1–16. (in Persian)
34. Palma, F., L. Carmen, I. Carmen, M. G. Jose, A. T. G. Noel., 2009. Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Growth Regul.* 58: 307-316.
35. Ranjir, T., Safari, V., Maqsoodi-Mood, A. A., 2017. Application of salicylic acid in reducing the effects of saline water on ornamental hollyhock. In *Proceedings of the 14th National Conference on Irrigation and Reduction of Water Evaporation*, Shahid Bahonar University of Kerman. Iran. (In Persian). Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 43: 439-463.
36. Rezaei, M., Mohammadi, H., Khoshbakht, T. 2021. The effect of exogenous application of salicylic acid on some physiological and biochemical indices of canola under salinity stress. *J. of Plant Res.*, (Iran), 34(4): 45-60.
37. Safari, M., Arghavani, M., Kheiri, A., 2017. Effect of salicylic acid on morphophysiological traits of vetiver grass under drought stress. *Agri. Crop Improv.*, 19(3), 591–603. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60464>.
38. Shanks J.B. 1972. Chemical control of growth and flowering in hibiscus, *Hort. Science.*, 7: 574.
39. Shannon, M.C. C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hort.* 78(2): 5-38.
40. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00189-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00189-7).
41. Sharma, M.K., 2023. Plant stress: Salt stress and mechanisms of stress tolerance. *Current Agri. Rese. J.*, 11(2), 380-400. <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.11.2.03>.
42. Shwethakumari U, Pallavi T, Prakash N B. 2021. Influence of foliar silicic acid application on soybean (*Glycine max* L.) varieties grown across two distinct rainfall years. *Plants* 10(6): 116. <https://doi.org/10.3390/plants10061162>.
43. Slinkard, K., Singleton, V. L., 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *Am. J. Enol. Vitic.*, 28 (1): 49-55.
44. Sobhani, Gh., Golchin, A., Shekari, F., 2011. Effect of different levels of salicylic acid on growth and yield of tomato under salinity stress. In: *Proceedings of the First Congress of New Sciences and Technologies in Agriculture*, Zanjan, Iran. (In Persian). Taghi zadeh, M., Solgi, M., 2014. Introduction of commercial protocol for *in vitro* propagation of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L.). *Hort. Sci.*, 45(4), 484-475. https://ijhs.ut.ac.ir/article_53501_6954.html.
45. Yeo, A.R., S.A. Flowers, G. Rao, K. Welfare, N. Senanayake T.J. Flowers. 1999. Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant Cell Environ.* 22: 559-565. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00418.x>.