گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)

مقاله پژوهشی

تاثیر کاربرد برگی اسید سالیسیلیک و زینک اکسید بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)

فاطمه پژم[۱]، زهرا اوراقی‌اردبیلی (نویسنده مسئول)[۲*]، علیرضا لادن‌مقدم[۳] و الهام دانائی[٤]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، pezhamf@gmail.com

۲*- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، zahraoraghi@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، Alireza.ladanmoghadam@gmail.com

٤- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، dr.edanaee@yahoo.com

تاریخ دریافت: فروردین ۱٤۰۳ تاریخ پذیرش: خرداد ۱٤۰۳

Effect of foliar application of salicylic acid and zinc oxide on growth, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in tomato plants

Fatemeh Pezham[1], Zahra Oraghi Ardebilli (Corresponding author)[2*], Alireza Ladan Moghadam[3] and Elham Danaee[4]

1- Ph.D Student, Department of Biology, Agriculture college, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, pezhamf@gmail.com

2*- Associated Professor, Department of Biology, Agriculture college, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, zahraoraghi@yahoo.com

3- Associated Professor, Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, Alireza.ladanmoghadam@gmail.com

4- Associated Professor, Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, dr.edanaee@yahoo.com

Received: April 2024 Accepted: June 2024

چکیده

این مطالعه برای بررسی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) به کاربرد برگی طولانی مدت اکسید روی (ZnO) و اسید سالیسیلیک (SA) در غلظت کم انجام شد. این آزمایش در شرایط کشت گلدانی در بستر کوکوپیت و پرلیت انجام شد و از محلول غذایی هوگلند برای آبیاری دانه رست‌های گوجه فرنگی استفاده شد. دانه رست‌های گیاه گوجه فرنگی با زینک اکسید در دو غلظت (صفر و ۵ میلی‌گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک در دو غلظت (صفر و ۵ میلی‌گرم در لیتر) سه روز درمیان طی دو ماه محلول‌پاشی شدند. کاربرد برگی تکی و توام اسید سالیسیلیک و زینک اکسید موجب بهبود رشد و وزن میوه شد. تیمارهای بکارگرفته شده اسید سالیسیلیک و زینک اکسید موجب افزایش ارتفاع گیاه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه و وزن تر میوه شدند. محلول‌پاشی برگی تکی و توام اسید سالیسیلیک و زینک اکسید همچنین موجب افزایش معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها شد. افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر محلول‌پاشی برگی زینک اکسید و اسید سالیسیلیک به ویژه تیمار ترکیبی ثبت شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز روند افزایشی در پاسخ به کاربرد برگی زینک اکسید و اسید سالیسیلیک نشان داد. بطور کلی، این مطالعه شواهد فیزیولوژیک را تامین کرد که چگونه کاربرد زینک اکسید و اسید سالیسیلیک در غلظت مناسب می‌تواند متابولیسم اولیه و سیستم آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشد. بدیهی است انجام تحقیقات بیشتر به ویژه مولکولی می تواند دانش ما را در زمینه ارتقا دهد.

کلمات کلیدی: اسید سالیسیلیک، آنتی اکسیدان‌های آنزیمی، زینک اکسید، گوجه فرنگی

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
سال ۱٤۰۳، دوره ۱۹، شماره ۱، صص ۲۱-۱۲

Abstract

This study was conducted to investigate the growth and physiological responses of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants to long-term foliar application of zinc oxide (ZnO) and salicylic acid (SA) in low concentration. This experiment was carried out under the pot conditions in cocopeat and perlite medium and Hoagland's nutrient solution was used to irrigate tomato seedlings. Tomato seedlings were sprayed with two concentrations (0 and 5 mg/l) zinc oxide and/or two dose (0 and 5 mg/l) of salicylic acid with three-day intervals during two months. Single and combined foliar application of salicylic acid and zinc oxide improved plant growth and fruit fresh weight. The applied treatments increased plant height, shoot fresh weight, root fresh weight, and fruit fresh weight. Individual and combined treatments of salicylic acid and zinc oxide also significantly increased the content of photosynthetic pigments, including chlorophyll a Chla, Chlb and carotenoids. A significant increase in the activity of catalase enzyme was recorded due to the foliar spray of zinc oxide and salicylic acid, especially the combined treatment. Peroxidase enzyme activity also showed an increasing trend in response to foliar application of zinc oxide and salicylic acid. Overall, this study provided physiological evidence on how the application of zinc oxide and salicylic acid in appropriate concentration can improve primary metabolism and antioxidant system. It is obvious that performing further researches, especially at molecular levels, can improve our knowledge in the field.

Key words: Antioxidant enzymes, Salicylic acid, Tomato, Zinc oxide

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Spring 2024, Vol 19, No 1, Pp 12-21

مقدمه و کلیات

گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) یکی از مهم‌ترین محصولات سبزی در سراسر جهان محسوب می‌شود. میوه‌های گوجه‌فرنگی با تعداد زیادی از ترکیبات فعال زیستی مفید برای سلامتی مانند فنولیک، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و گلیکوآلکالوئیدها مشخص می‌شوند (Chaudhary *et al*., 2018). اسید سالیسیلیک (SA) یا اسید ارتو-هیدروکسی بنزوئیک، یک مشتق فنلی است که به طور گسترده در سلسله گیاهان وجود دارد و به عنوان یک ترکیب شبه تنظیم کننده رشد در تنظیم چندین فرآیند فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند ترموژنز، سیگنالینگ گیاه، فعالسازی سیستم دفاعی گیاه، و پاسخ به تنش های فیزیکوشیمیایی و غیرزنده‌ای نقش اساسی دارد (Sharma *et al*., 2020). از نظر شیمیایی، SA به گروه بزرگی از ترکیبات فنلیک گیاهی تعلق دارد و SA می‌تواند به صورت آزاد و پیوسته در گیاهان استخراج شود. به طور خاص، شکل پیوسته یا اتصالی از متیلاسیون، هیدروکسیلاسیون و/یا گلوکوزیلاسیون حلقه اروماتیک حاصل می‌شود (Sharma *et al*., 2020). اسید سالیسیلیک (SA) یک تنظیم‌کننده طبیعی رشد گیاهان آوندی است که بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیک مختلف، مانند فتوسنتز، تعرق، جذب یون و حمل و نقل تأثیر می گذارد (Ibrahim *et al*., 2019; Wei *et al*., 2018). از نظر فیزیولوژیک، SA نقش اصلی را در تنظیم رشد گیاه، و در فعالسازی سیستم دفاعی گیاه دربرابر تنش های زنده و غیرزنده بازی می کند (Kohli *et al*., 2018; Guo *et al*., 2018). کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک با کاهش رشد ناشی از تنش، عملکرد گونه های گیاهی را افزایش می‌دهد (Khan *et al*., 2015). گزارش شده است که اثرات محرک رشد SA ممکن است با تغییرات در وضعیت هورمونی (Shakirova *et al*., 2003; Abreu *et al*., 2009) یا با افزایش فتوسنتز، تعرق، و هدایت روزنه‌ای (Stevens *et al*., 2006) و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و تنظیم اسمزی مرتبط باشد (Faried *et al*., 200317; Khan *et al*., 2013). عنصر روی یک فلز واسطه ضروری مهم برای موجودات زنده است (Balafrej *et al*., 2020). این عنصر دارای نقش های ساختاری و متابولیسمی مهمی در رشد، تولید مثل و سیگنال دهی گیاه است (Lehmann *et al*., 2014). روی همچنین به عنوان یک کوفاکتور برای بسیاری از آنزیم‌ها مانند کربنیک انیدراز، کربوکسی پپتیداز و روی سوپراکسید دیسموتاز عمل می‌کند (Castillo-González *et al*., 2018).Zn برای فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها در سلول‌های گیاهی مانند الکل دهیدروژناز، کربنیک انیدراز و RNA پلیمراز مورد نیاز است. روی همچنین با برهمکنش با فسفولیپیدها و سولفیدریل در تثبیت گروه‌های پروتئین‌های غشایی در غشاهای زیستی نقش دارد. روی می تواند به پروتئوسنتز، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و سنتز لیپید و اسید نوکلئیک کمک کند. غلظت روی به عواملی مانند pH، ترشحات ریشه ای، جوامع میکروبی و مواد آلی خاک بستگی دارد. روی اضافی ممکن است رشد گیاه را تغییر دهد و ایجاد سمیت کند (Mirakhorli *et al*., 2022). این مطالعه برای بررسی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی به کاربرد برگی طولانی مدت زینک اکسید و اسید سالیسیلیک انجام شد.

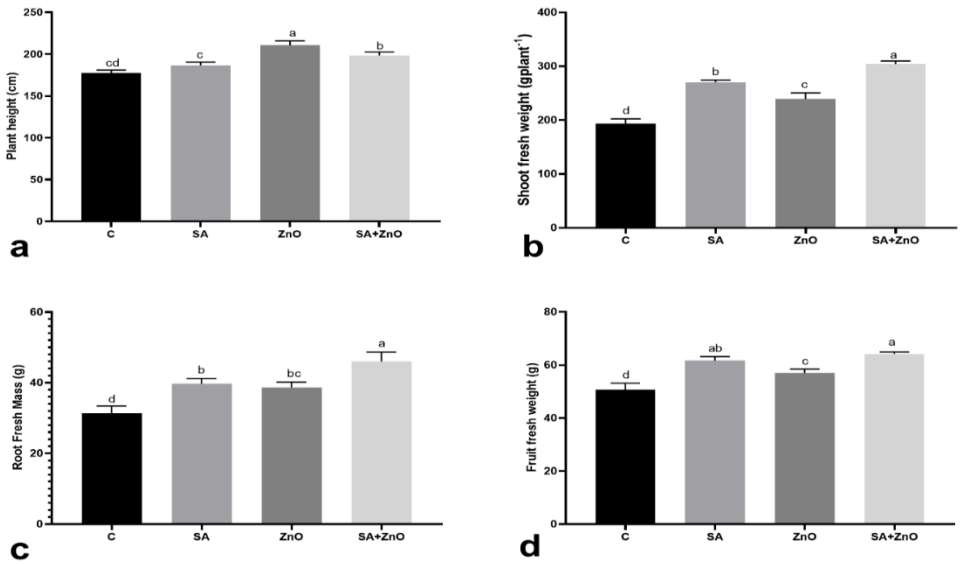
فرآیند پژوهش

بذور گوجه فرنگی از شرکت فیتو هند تهیه شد. این آزمایش در شرایط کشت گلدانی در بستر کوکوپیت/پرلیت (۷۰ /۳۰) انجام شد. از محلول غذایی هوگلند ۳ بار در هفته برای آبیاری دانه رست‌های گوجه فرنگی استفاده شد. دانه رست‌های یک ماهه با زینک اکسید در دو غلظت (صفر و ۵ میلی‌گرم در لیتر) اسید سالیسیلیک در دو غلظت (صفر و ۵ میلی‌گرم در لیتر) سه روز درمیان طی دو ماه محلول‌پاشی شدند. صفات رشدی و سنجش های بیوشیمیایی روی نمونه‌های ۹۰ روزه انجام شد. اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، از حلال استون برای خالص سازی رنگدانه های فتوسنتزی از برگ‌ها استفاده شد. میزان جذب عصاره‌های استونی در طول موج‌های مختلف از جمله ٤٧٠، ٦٦٣ و ٦٤٦ نانومتر به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. پس از آن، غلظت Chla، Chlb و کاروتنوئیدها با استفاده از معادلات ارائه شده توسط Danaee و Abdossi در سال ۲۰۱۹ تعیین شد. استخراج آنزیم‌ها از برگ‌ها، با استفاده از بافر فسفات (۱۰۰ میلی‌مولار، pH 7.5) استفاده شد. پس از آن، هموژن‌ها در دمای ٤ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ و سوپرناتانت به عنوان عصاره آنزیمی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Danaee and Abdossi, 2018) مخلوط واکنش آنزیم کاتالاز شامل 2.5 میلی لیتر بافر تریس ۵۰ میلی مولار (pH7.6) و ۳۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳٪ است. تغییرات جذب در ۲٤۰ نانومتری با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت برحسب تغییر جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر گزارش شد (Dareini *et al.*, 2014). مخلوط واکنش پراکسیداز شامل ۲ ml بافر استات (۰.۲ M ،pH ٤.٨) + ۲۰۰ µl H_2O_2 ٪۳ + ۲۰۰ µl بنزیدین (۰/۰٤ M محلول در متانول ۵۰٪) است. سپس عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش افزوده شده و تغییرات جذب نمونه‌ها (افزایش جذب) در ۵۳۰nm در دقیقه توسط اسپکتروفتومتر بررسی شد (Alhverdizadeh and Danaee, 2023) و در نهایت مقدار فعالیت آنزیم برحسب تغییرات جذب نمونه‌ها در ۵۳۰nm در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر ($\Delta Amin^{-1}g^{-1}fw$) گزارش شد (Soroori *et al.*, 2021).

آنالیز آماری داده‌ها: آزمون ANOVA روی اطلاعات بدست امده اجرا شد. مقایسه میانگین ها براساس آزمون توکی با استفاده از نرم افزار Graphpad Prism انجام شد.

نتایج و بحث

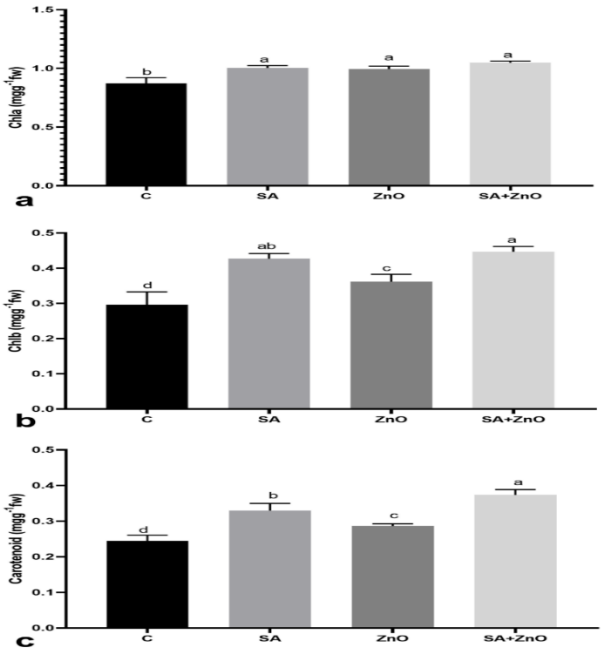
در شکل ۱، مزایای کاربرد برگی اسید سالیسیلیک و زینک اکسید بر ارتفاع گیاه (شکل 1a)، وزن تر اندام هوایی (شکل 1b)، وزن تر ریشه (شکل 1c) و وزن تر میوه (شکل 1d) نشان داده شده است.



شکل ۱- تاثیر کاربرد برگی اسید سالیسیلیک و زینک اکسید بر ارتفاع گیاه (a)، وزن تر اندام هوایی (b)، وزن تر ریشه (c) و وزن تر میوه (d)

Fig 1- Effect of foliar application of salicylic acid and zinc oxide on plant height (a), shoot fresh weight (b), root fresh weight (c) and fruit fresh weight (d)

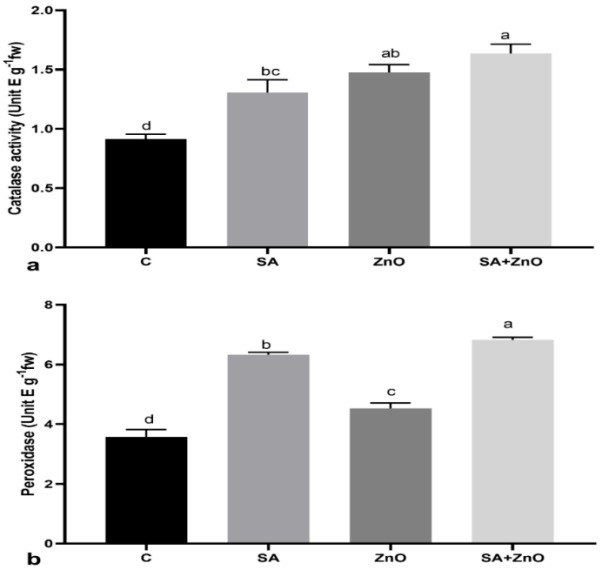
محلول‌پاشی برگی تکی و توام اسید سالیسیلیک و زینک اکسید موجب فزایش معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a (شکل 2a)، Chlb (شکل 2b)، و کاروتنوئیدها (شکل 2c) شد.



شکل ۲- تاثیر کاربرد برگی اسید سالیسیلیک و زینک اکسید بر محتوای Chla (a)، Chlb (b)، و کارتنوئیدها (c)

Fig 2- The effect of foliar application of salicylic acid and zinc oxide on the content of Chla (a), Chlb (b), and carotenoids (c)

افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز در اثر محلول‌پاشی برگی زینک اکسید و اسید سالیسیلیک به ویژه تیمار ترکیبی ثبت شد (شکل 3a). فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز روند افزایشی در پاسخ به کاربرد برگی زینک اکسید و اسید سالیسیلیک نشان داد (شکل 3b).



شکل ۳- تاثیر کاربرد برگی اسید سالیسیلیک و زینک اکسید بر فعالیت انزیم کاتالاز (a) و پراکسیداز (b)

Fig 3- Effect of foliar application of salicylic acid and zinc oxide on catalase (a) and peroxidase (b) enzyme activity

بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد تکی و توام اسید سالیسیلیک و زینک اکسید منجر به اصلاح رشد رویشی، بهبود کیفیت میوه، افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شد. فواید کاربرد زینک اکسید می‌تواند ناشی از نقش عنصر روی به عنوان کوفاکتور مهم است. این عنصر عملکرد کوفاکتوری در تعداد زیادی از آنزیم‌ها است که از طریق آن فرایندهای مهم سلولی مثل رونویسی، ترجمه و متابولیسم هورمون تنظیم می شود (Maret *et al.*, 2019). همسو با این نتایج، بهبود فتوسنتز و تحریک سیستم آنتی اکسیدانی نتیجه کاربرد منابع روی بوده است (Faizan *et al.*, 2018)، توجه به این نکته مهم است که در غلظت‌های بالا کاربرد این عنصر می تواند سمی باشد و رشد و متابولیسم گیاه را سرکوب کند (Tripathi *et al.*, 2017). بر اساس این تحقیق و همسو با سایر تحقیقات، محلول‌پاشی برگی با اسید سالیسیلیک نیز روشی مناسب برای بهبود رشد و عملکرد گیاه شناخته شد. SA یک تنظیم کننده مهم فتوسنتز است زیرا بر ساختار برگ و کلروپلاست، بسته شدن روزنه، کلروفیل و محتوای کاروتنوئید (محتوای کلروفیل و کاروتنوئید) و فعالیت آنزیم‌هایی مانند RuBisCO ریبولوز-۱،۵-بیس فسفات کربوکسیلاز/اکسیژناز) و آنهیدراز کربنیک تأثیر می گذارد (El-Hady *et al.*, 2021). همسو با یافته‌های

این تحقیق، کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک همراه با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تحت تیمار شده است (Jahan *et al*., 2019). این مسئله گزارش شده است که اسید سالیسیلیک بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیک مختلف، مانند فتوسنتز، تعرق، جذب یون و حمل و نقل تأثیر می‌گذارد (Ibrahim *et al*., 2019). همچنین این تنظیم کننده رشد گیاهی در تنظیم رشد گیاه، و در فعالسازی سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده نقش کلیدی دارد (Wei *et al*., 2018; Guo *et al*., 2018). کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک می‌تواند مقاومت به تنش‌ها را از طریق تقویت سیستم انتی اکسیدانی و تحریک متابولیسم ثانویه افزایش می‌دهد (Khan *et al*., 2017). شواهد علمی دلالت بر ان دارد که اثرات محرک رشد SA می‌تواند از طریق تغییرات تعادل هورمونی (Shakirova *et al*., 2003; Abreu *et al*., 2009)، با افزایش فتوسنتز، تغییر در شدت تعرق (Stevens *et al*., 2006) و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و تنظیم اسمزی رخ دهد (Faried *et al*., 2017). به طور کلی، این مطالعه شواهد فیزیولوژیک را تامین کرد که چگونه کاربرد زینک اکسید و اسید سالیسیلیک در غلظت مناسب می‌تواند متابولیسم اولیه و سیستم آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه شواهد فیزیولوژیک را تامین کرد که چگونه کاربرد زینک اکسید و اسید سالیسیلیک در غلظت مناسب می‌تواند متابولیسم اولیه و سیستم آنتی اکسیدانی را در گیاهان زراعی مثل گوجه فرنگی بهبود بخشد. انجام تحقیقات بیشتر به ویژه مولکولی می‌تواند دانش ما را در زمینه ارتقا دهد.

منابع

1) Abreu, M.E. and S, Munné-Bosch. 2009. Salicylic Acid Deficiency in NahG Transgenic Lines and sid2 Mutants Increases Seed Yield in the Annual Plant Arabidopsis thaliana. *J. Exp. Bot*, 60: 1261–1271.
2) Alhverdizadeh, S. and E, Danaee. 2023. Effect of Humic Acid and Vermicompost on Some Vegetative Indices and Proline Content of *Catharanthus roseous* under Low Water Stress. *Environment and Water Engineering*, 9(1): 141-152.
3) Balafrej, H., Bogusz, D., Triqui, Z.E.A., Guedira, A., Bendaou, N., Smouni, A. and M, Fahr. 2020. Zinc hyperaccumulation in plants: *A review*. *Plants*, 9(5): 562.
4) Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., González-Franco, A.C., Robles-Hernández, L. and G.R, López-Ochoa. 2018. Zinc metalloenzymes in plants. *Interciencia*, 43(4): 242-248.
5) Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B. and A.K, Nagpal. 2018. Bioactivities of Phytochemicals Present in Tomato. *Journal of Food Science Technology*, 55: 2833–2849.
6) Sharma, A., Sidhu, G.P., Araniti, F., Bali, AS., Shahzad, B., Tripathi, DK., Brestic, M., Skalicky, M. and M, Landi. 2020. The role of salicylic acid in plants exposed to heavy metals. *Molecules*, 25(3): 540.
7) Danaee, E. and V, Abdossi. 2019. Effects of Some Amino Acids and Organic Acids on Enzymatic Activity and Longevity of *Dianthus caryophyllus* cv. Tessino on at Pre-Harvest Stage. *Journal of Ornamental Plants*, 9(2): 93-104.
8) Danaee, E. and V, Abdossi. 2019. Phytochemical and Morphophysiological Responses in

Basil (*Ocimum basilicum* L.) Plant to Application of Polyamines. *Journal of Medicin Plants*, 18 (69): 125-133.

9) Dareini, H. Abdossi, V. And E, Danaee. 2014. Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers (*Gerbera Jamesonii* cv.Sorbet). *European Journal of Experimental Biology*, 4(3): 276-280.
10) El-Hady, N.A.A.A., ElSayed, A.I., El-Saadany, S.S., Deligios, P.A. and L, Ledda. 2021. Exogenous application of foliar salicylic acid and propolis enhances antioxidant defenses and growth parameters in tomato plants. *Plants*, 10(1): 74.
11) Faizan, M., Faraz, A., Yusuf, M., Khan, ST. and S, Hayat. 2018. Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. *Photosynthetica*, 56: 678-86.
12) Faried, H.N., Ayyub, C.M., Amjad, M., Ahmed, R., Wattoo, F.M., Butt, M., Bashir M., Shaheen, M.R. and M.A, Waqas. Salicylic Acid Confers Salt Tolerance in Potato Plants by Improving Water Relations, Gaseous Exchange, Antioxidant Activities and Osmoregulation. J. *Sci. Food Agric*, 97: 1868–1875.
13) Guo, J. Zhou, R., Ren, X., Jia, H., Hua, L., Xu, H., Lv, X., Zhao, J. and T, Wei. 2018. Effects of salicylic acid, Epi-brassinolide and calcium on stress alleviation and Cd accumulation in tomato plants. *Ecotoxic. Environ. Saf*, 157: 491–496.
14) Hosseinzadeh Rostam Kalaei, M., Abdossi, V. and E, Danaee. 2022. Evaluation of foliar application of selenium and fowering stages on selected properties of Iranian Borage as a medicinal plan. *Scientifc Reports*, 12: 1-10.
15) Ibrahim, A., Abdel-Razzak, H., Wahb-Allah, M., Alenazi, M., Alsadon, A. and Y.H, Dewir. 2019. Improvement in Growth, Yield, and Fruit Quality of Three Red Sweet Pepper Cultivars by Foliar Application of Humic and Salicylic Acids. *HortTechnology*, 29: 170–178.
16) Jahan, M.S., Wang, Y., Shu, S., Zhong, M., Chen, Z., Wu, J., Sun, J. and S, Guo. 2019. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. *Scientia Horticulturae*, 247: 421-429.
17) Khan, M.I., Fatma, M., Per, T.S., Anjum, N.A. and N.A, Khan. 2015. Salicylic Acid-Induced Abiotic Stress Tolerance and Underlying Mechanisms in Plants. *Front. Plant. Sci*, 6: 1–17.
18) Khan, M.I.R., Iqba, N., Masood, A., Per T.S. and N.A, Khan. 2013. Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Sign. Behav*, 8: e26374.
19) Kohli, S.K., Handa, N., Sharma, A., Gautam, V., Arora, S., Bhardwaj, R., Wijaya, L., Alyemeni M.N. and P, Ahmad. 2018. Interaction of 24-epibrassinolide and salicylic acid regulates pigment contents, antioxidative defense responses, and gene expression in *Brassica juncea* L. seedlings under Pb stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 15159-15173.
20) Lehmann, A., Veresoglou, S.D., Leifheit, E.F. and M.C, Rillig. Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants–a meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry. 2014; 69: 123-131.
21) Maret, W. 2019.The redox biology of redox-inert zinc ions. *Free Radical Biology and Medicine*, 134: 311-326.
22) Mirakhorli, T., Oraghi Ardebili, Z., Ladan-Moghadam, A. and E, Danaee.

2022. Nitric oxide improved growth and yield in soybean (Glycine max) by mediating physiological, anatomical, and transcriptional modifications. *Journal of Plant Growth Regulation (JPGR)*, 41: 13311-1343. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10389-0.

23) Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fathkutdinova, R.A., and D.R, Fatkhutdinova. 2003. Changes in the Hormonal Status of Wheat Seedlings Induced by Salicylic Acid and Salinity. *Plant. Sci*, 164: 317–322.
24) Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, Kh. and A.R, Ladan Moghadam. 2021. Effect of Foliar Application of Proline on Morphological and Physiological traits of Calendula officinalis L. Under Drought Stress. *Journal of Ornamental Plants*, 11(1): 13-30.
25) Stevens, J., Senaratna, T. and K, Sivasithamparam. 2006. Salicylic Acid Induces Salinity Tolerance in Tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): Associated Changes in Gas Exchange, Water Relations and Membrane Stabilisation. *Plant Growth Regul*, 49: 77–83.
26) Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P.K., Singh, V.P., Singh, S., Prasad, S.M., Singh, P.K., Dubey, N.K., Pandey, A.C. and D.K, Chauhan. 2017. Nitric oxide alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in Pisum sativum seedlings. *Plant Physiol. Biochem*, 110: 167–177.
27) Wei, T., Lv, X., Jia, H., Hua, L., Xu, H., Zhou, R., Zhao, J., Ren, X. and J, Guo. 2018. Effects of salicylic acid, Fe (II) and plant growth-promoting bacteria on Cd accumulation and toxicity alleviation of Cd tolerant and sensitive tomato genotypes. *Journal of environmental management*, 214: 164-171.