Plant Prod., 2023, 46(2), 225-236
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.43201.2090
Received: 4 March 2023
Accepted: 23 June 2023

Plant Productions
Research Article

Phytochemical changes of Denak (*Oliveria decumbens*) in response to salinity stress and application of salicylic acid hormone

Anahita Boveiri Dehsheikh[1], Mohammad Mahmoodi Sourestani[2*], Naeimeh Enayatizamir[3], Mehdi Safdarian[4]

1. PhD Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticultural Science, of Faculty Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor of Pharmaceutical Nanotechnology, Nanotechnology Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Citation: Boveiri Dehsheikh, A., Mahmoodi Sourestani, M., Enayatizamir, N., & Safdarian, M. (2023). Phytochemical changes of Denak (*Oliveria decumbens*) in response to salinity stress and application of salicylic acid hormone. *Plant Productions,* 46(2), 225-236.

Abstract

Introduction

Salinity stress is one of the most important problems in the cultivation and production of agricultural products, including medicinal plants. The expansion of saline lands following continuous droughts in recent years increases the importance of the tolerance level of medicinal plants determination, their type of reaction, and the necessity of finding a solution to reduce the damage of mentioned stress on plants and increasing the productivity of the above lands.

Materials and Methods

To study the effect of salinity stress and salicylic acid hormone on biochemical traits of Denak (*Oliveria decumbens*), a factorial pot experiment was conducted as randomized complete block design with three replications in the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2020-2021. The experiment factors included irrigation water salinity in four levels (1.1 (tap water), 2.5, 5, 7.5 dS/m) and foliar application of salicylic acid hormone in four levels (0, 100, 200, 500 mg/L). Biochemical traits included total soluble carbohydrates, proline, malondialdehyde, sodium and potassium elements, the activity of superoxide dismutase, catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase, polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase enzymes were measured at flowering stage.

* **Corresponding Author:** Mohammad Mahmoodi Sourestani
E-mail: m.mahmoodi@scu.ac.ir

© 2023 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.

Results and Discussion

The interaction effect of salinity stress and foliar application of salicylic acid hormone significantly changed all the traits of Denak. The foliar application of 200 mg/L of this regulator in plants under 5 dS/m salinity stress increased the amount of total soluble carbohydrates, proline, the activity of superoxide desmutase, catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase, polyphenol oxidase enzymes compared to the control treatment. The highest level of activity of ascorbate peroxidase and phenylalanine ammonialyase enzymes was also obtained in the foliar spraying of plants under 5 dS/m salinity stress by the concentration of 500 mg/L of salicylic acid hormone, but no significant difference was observed between this concentration and the application of 200 mg/L of this hormone. The maximum concentration of potassium element and the minimum amount of malondialdehyde and sodium element of Denak leaf were also recorded in the treatment of plants under 2.5 dS/m salinity stress by the concentration of 200 mg/L of salicylic acid hormone. The salicylic acid regulator as a very important messenger in the plant's defense system through increasing the stimulation of antioxidant enzymes in Denak reduced the negative effects of free radicals, membrane destruction and the production of malondialdehyde compound in a 2.5 dS/m salinity stress. On the other hand, the application of this hormone reduced the damage caused by the secondary stress of dehydration by increasing the ability of the plant to produce osmotic pressure regulating compounds including soluble carbohydrates and proline.

Conclusion

Due to its ability to increase the production of osmolyte compounds including soluble carbohydrates and proline, activation of antioxidant enzymes and maintaining the stability of cell membranes, Denak is able to withstand salinity stress up to the level of 5 dS/m. The application of 200 mg/L of salicylic acid hormone is beneficial and recommended due to its positive effect on antioxidant capacity and increasing the production of osmotic protective compounds in the plant as a solution to increase the resistance of Denak against the salinity stress.

Keywords: Antioxdant enzymes, Elements concentration, Malondialdehyde, Phenylalanine ammonia lyase, Proline

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۲، ۴۶(۱)، ۲۲۵-۲۳۶
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.43201.2090
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تغییرات فیتوشیمیایی گیاه لعل کوهستان (*Oliveria decumbens*) در پاسخ به تنش شوری و کاربرد سالیسیلیک‌اسید

آناهیتا بویری ده‌شیخ[۱]، محمد محمودی سورستانی[۲*]، نعیمه عنایتی‌ضمیر[۳]، مهدی صفدریان[۴]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز ، ایران.
۴. استادیار نانوفناوری دارویی، مرکز تحقیقات نانوفناوری، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

چکیده

به‌منظور مطالعه تاثیر تنش شوری و کاربرد محلول‌پاشی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر صفات بیوشیمیایی گیاه لعل کوهستان، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز در ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۱/۱ (آب شهری)، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و چهار سطح کاربرد برگی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. صفات بیوشیمیایی گیاه شامل میزان کربوهیدرات محلول کل، پرولین، مالون‌دی آلدهید، عناصر سدیم و پتاسیم، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیالیاز گیاه در ابتدای مرحله گلدهی، اندازه‌گیری شدند. اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید کلیه صفات گیاه لعل کوهستان را به‌طور معنی‌دار تغییر داد. کاربرد برگی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر این تنظیم‌کننده در گیاهان تحت تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر میزان کربوهیدرات محلول کل، پرولین، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیالیاز نیز در محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر توسط غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید به‌دست آمد اما تفاوت معنی‌داری میان این غلظت و کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده مذکور مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان غلظت عنصر پتاسیم و کمترین میزان مالون‌دی آلدهید و عنصر سدیم برگ گیاه لعل کوهستان نیز در تیمار گیاهان تحت تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر توسط غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید ثبت گردید. تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید به عنوان یک پیام‌رسان بسیار مهم در سیستم دفاعی گیاه از طریق افزایش تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاه لعل کوهستان سبب کاهش اثرات منفی رادیکال‌های آزاد، تخریب غشاء و تولید ترکیب مالون دی‌آلدهید در تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر گردید. از سوی دیگر، کاربرد این تنظیم‌کننده با بالا بردن توان گیاه در تولید ترکیبات تنظیم‌کننده فشار اسمزی شامل کربوهیدرات‌های محلول و پرولین آسیب ناشی از تنش ثانویه کم‌آبی را کاهش داد. گیاه لعل کوهستان به واسطه توانایی خود در افزایش تولید ترکیبات اسمولیت شامل کربوهیدرات‌های محلول و پرولین، فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و حفظ پایداری غشاءهای سلولی، قادر به تحمل تنش شوری تا سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. کاربرد غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید نیز به دلیل اثر مثبت بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش تولید ترکیبات محافظ اسمزی در گیاه بعنوان راهکاری جهت افزایش مقاومت گیاه لعل کوهستان در برابر تنش مذکور، سودمند و قابل توصیه است.

کلیدواژه‌ها: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین، فنیل‌آلانین آمونیالیاز، غلظت عناصر، مالون دی‌آلدهید

* **نویسنده مسئول:** محمد محمودی سورستانی
رایانامه: m.mahmoodi@scu.ac.ir

© 2023 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.

مقدمه

گیاه دارویی لعل کوهستان (*Oliveria decumbens*) یکی از گیاهان دارویی ارزشمند خانواده چتریان است. این گیاه بومی کشورهای ایران، ترکیه، سوریه و عراق بوده و در مناطق گرم استان‌های خوزستان، کرمانشاه، فارس و ایلام به‌صورت خودرو رشد می‌نماید (Mozafarian, 2003). گیاه لعل کوهستان، علفی، یک‌ساله و معطر بوده و دارای ساقه‌ای ایستاده، محکم، گاه بدون کرک و گاه کرک‌دار با انشعابات فراوان است. برگ‌های آن بُن‌رُست و دارای دمبرگ و گل‌های آن به رنگ صورتی یا ارغوانی می‌باشد (Ghahraman, 1998). این گیاه در طب سنتی ایران در درمان اسهال، دردهای شکمی، رفع تب و سوء هاضمه مورد استفاده فراوان بوده است (Amin et al., 2005). امروزه نیز مطالعات مختلف صورت گرفته حاکی از توانمندی گیاه فوق در تولید میزان بالای اسانس با ترکیبات ارزشمند و پتانسیل ویژه کاربرد آن در صنایع داروسازی و غذایی است. میزان اسانس گیاه لعل کوهستان بین ۲/۷۱ تا ۸/۵۲ درصد در مناطق مختلف کشور می‌باشد و ترکیبات کارواکرول، تیمول، گاما-ترپینن، پی-سیمن و میریستیسین اجزای اصلی اسانس آن را تشکیل می‌دهند (Karami et al., 2020). از جمله خواص بیولوژیکی ارزشمند مواد مؤثره این گیاه می‌توان به خواص ضدمیکروبی و اثرات آفت‌کشی آن اشاره نمود (Habibi and Ghahtan, 2020; Roozdar et al., 2020).

تنش شوری از جمله تنش‌های غیرزنده بسیار مهم در اراضی خشک و نیمه‌خشک کشور به شمار می‌آید. افزایش غلظت نمک‌های محلول از جمله عنصر سدیم در خاک به واسطه رقابت با عناصری مانند پتاسیم و کلسیم، گیاه را با اختلال در جذب آب و تغییر نفوذپذیری غشاء مواجه می‌سازد (Sairam et al., 2005). وقوع خشکی فیزیولوژیک به‌دنبال کاهش عنصر پتاسیم در واکوئل، فشار تورژسانس سلول، سطح برگ و هدایت روزنه‌ای آن را کاهش داده و افت شدید فتوسنتز و اختلال در تنفس، متابولیسم قندها، پروتئین‌ها، لیپیدها و کاهش رشد و نمو گیاه را به‌همراه می‌آورد (Zhao et al., 2020). مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با این تنش در گیاهان وجود دارد. تولید اسمولیت‌های کاهنده پتانسیل آب سلول جهت حفظ فشار اسمزی و جذب آب و افزایش بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله پاسخ‌های گیاهان در تحمل تنش شوری به شمار می‌آیند (Joushan et al., 2020; Shamsaddin Saied and Pourghasemian, 2021). مطالعات صورت گرفته بر روی گیاهان رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Rebey et al., 2016; Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019)، سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) (Zarei et al., 2019)، آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) (Harati et al., 2016) و به‌لیمو (*Lippia citrodora*) (Farsaraei et al., 2019) به تاثیر تنش مذکور برکاهش رشد و عملکرد و افزایش تولید قندهای محلول و پرولین اشاره نموده‌اند. سالیسیلک اسید (ارتوهیدروکسی بنزوئیک اسید) از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد است که به عنوان القاءکننده بیان ژن‌های مقاومت به تنش عمل نموده و دارای نقش بسیار مهم در مکانیسم دفاعی گیاه است (Arif et al., 2020). تاثیر مثبت این تنظیم‌کننده بر صفات مورفولوژیک، میزان تولید پرولین و آنزیم‌های خنثی‌کننده رادیکال آزاد در گیاهان مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica*)، به‌لیمو (*Lippia citrodora*) و آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) توسط Sadeghian et al., 2013، Farsaraei et al., 2019 و Harati et al., 2016 گزارش شده است.

با نظر به اهمیت مواد مؤثره این گیاهان در صنایع مختلف و تاثیرپذیری رشد و نمو، کمّیت و کیفیت ترکیبات ارزشمند آن‌ها از تنش‌های محیطی، مطالعه پاسخ این گیاهان طی تنش و تاثیر بکارگیری ترکیبات ضدتنش به‌منظور کاهش اثرات منفی آن‌ها بر رشد این گیاهان، از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و به مدیریت هوشمندانه کشت این محصولات کشاورزی در جهت افزایش بهره‌وری اراضی ضعیف کشور کمک می‌کند. بر این اساس، با توجه به عدم وجود مطالعه‌ای در زمینه تغییرات شیمیایی گیاه دارویی لعل کوهستان در پاسخ به تنش شوری، تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر تنش مذکور و محلول‌پاشی برگی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر صفات بیوشیمیایی گیاه فوق، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بازه زمانی ۱۵ آبان ماه سال ۱۳۹۹ الی خرداد ماه سال ۱۴۰۰، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار و هر تکرار شامل ۲ گلدان پایه‌گذاری گردید. عامل اول شامل ۴ سطح شوری آب آبیاری (۱/۱ (آب شهری)، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس در متر) و عامل دوم شامل ۴ سطح محلول‌پاشی برگی تنظیم‌کننده

سالیسیلیک اسید (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. بدین منظور از سالیسیلیک اسید متعلق به شرکت مرک آلمان و با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد استفاده گردید. جهت اعمال تیمارهای شوری، آب شور از تالاب واقع در جاده ماهشهر با شوری ۳۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، برداشت و سطوح مختلف شوری آب از طریق رقیق‌سازی تهیه گردید. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. بذر گیاه از نمونه‌های کشت شده در سال قبل جمع‌آوری و در آبان ماه در خزانه کشت شدند. سپس نشاء در مرحله ۱۲ برگی به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر، دارای زهکش مناسب و حاوی ترکیب، خاک مزرعه، ماسه و کود حیوانی (نسبت ۱:۱:۱) منتقل گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان در جدول ۲ آمده است. پس از انتقال و استقرار گیاهان در گلدان، اعمال تنش شوری به‌صورت پلکانی و از سطح ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر برای کلیه گلدان‌های دریافت‌کننده آب شور (سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) آغاز و به مدت ۶ هفته انجام شد. در هر مرحله، شوری آب زهکش گلدان به‌منظور کنترل تنش اعمال شده، اندازه‌گیری گردید. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک در گلدان، پس از اعمال دو مرتبه تنش شوری با سطح مورد نظر، گلدان توسط آب سطح شوری ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شد. محلول‌پاشی برگی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید طی سه مرحله (دو مرحله قبل از اعمال تنش شوری با فواصل زمانی ۷ روزه و یک مرحله یک هفته پس از اعمال کلیه سطوح تنش شوری) انجام و صفات گیاه شامل میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسموتاز به‌روش (Beyer et al., 1987)، کاتالاز به‌روش (Aebi, 1984)، گایاکول پراکسیداز به‌روش (Plewa et al., 1991)، آسکوربات پراکسیداز به‌روش (Nakano and Asada, 1987)، پلی‌فنول اکسیداز به‌روش (Kar and Mishra, 1976)، فنیل‌آلانین آمونیالیاز به‌روش (Wang et al., 2006) و میزان کربوهیدرات محلول کل به‌روش (Sheligl, 1986)، پرولین به‌روش (Bates et al., 1973) و مالون دی‌آلدهید به‌روش (Heath and Packer, 1968) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و عناصر سدیم و پتاسیم به‌روش (Hamada and El-Enany, 1994) و توسط دستگاه فلیم‌فتومتر در ابتدای مرحله زایشی اندازه گیری شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، مقایسه شد.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

بر اساس آنالیز آماری داده‌ها، اثر متقابل تنش شوری و کاربرد تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید میزان فعالیت کلیه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی را به‌طور معنی‌داری تغییر داد (جدول ۳). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، میزان فعالیت آنزیم‌های فوق را در سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌دار افزایش داد (جدول ۴). مطالعات انجام شده در خصوص تاثیر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر مقاومت گیاهان پونه (*Mentha pulegium*)، رزماری (*Rosmarinus officinallis*) و مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica*) در برابر تنش شوری نشان داد کاربرد این تنظیم‌کننده سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز در گیاهان فوق و بهبود توان سیستم آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در مواجهه با تنش شوری گردید (Aryan et al., 2018; El-Esawi et al., 2017; Farhadi and Ghassemi-Golezani, 2020). تنش شوری، با تولید انواع گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه سبب تخریب پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و سیستم‌های فتوسنتزی و اختلال در رشد گیاه می‌شود (Ruley et al., 2004). تولید رادیکال‌های آزاد در تنش شوری به عنوان پیام‌رسان عمل نموده و سبب افزایش تولید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود. آنزیم سوپراکسید دسموتاز با تبدیل رادیکال سوپراکسید به مولکول پراکسید هیدروژن، واکنش خنثی‌سازی این رادیکال مخرب را کاتالیز می‌کند. بر این اساس، افزایش میزان فعالیت این آنزیم در گیاه لعل کوهستان در هنگام مواجهه با سطوح بالای تنش را می‌توان به تولید بالای رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه و پاسخ دفاعی آن نسبت داد. کاربرد تنظیم‌کننده ضدتنش سالیسیلیک اسید نیز دارای اثر مثبت بر میزان بیان ژن‌های کدکننده آنزیم سوپراکسید دسموتاز است (Xi et al., 2021). در نتیجه، افزایش سطح فعالیت آنزیم فوق در گیاهان محلول‌پاشی شده با سالیسیلیک اسید را می‌توان ناشی از نقش مثبت این تنظیم‌کننده در بهبود فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز دانست.

بالاترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در گیاهان رشد یافته در تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر که توسط غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید تیمار شدند، ثبت شد (جدول ۴). تاثیر اعمال خارجی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر افزایش مقاومت گیاهان سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)، رزماری (*Rosmarinus officinallis*) و پونه (*Mentha pulegium*) نسبت به تنش شوری نیز نشان داد که تنظیم‌کننده مذکور، از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز سبب ارتقاء سطح دفاعی گیاه در تحمل تنش فوق می‌گردد (El-Esawi et al., 2017; Farhadi and Ghassemi-Golezani, 2020; Zarei et al., 2019). پراکسید هیدروژن (H_2O_2) از دیگر گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن تولید شده در طی تنش شوری است که توسط آنزیم کاتالاز به سرعت تجزیه و به آب و اکسیژن تبدیل می‌گردد. سالیسیلیک اسید از جمله تنظیم‌کننده‌های دخیل در افزایش بیان ژن‌های کدکننده آنزیم کاتالاز در گیاه است (Xi et al., 2021). از این رو، با توجه به نتایج تحقیق حاضر، هم‌افزایی اثر تنش شوری و کاربرد تنظیم‌کننده سالیسیلیک‌اسید را می‌توان عامل افزایش فعالیت این آنزیم در تیمار گیاهان لعل کوهستان تحت تنش شوری که توسط این تنظیم‌کننده محلول‌پاشی شدند، دانست.

تغییرات میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز گیاه لعل کوهستان در پاسخ به برهمکنش عوامل فوق بیانگر اثر هم‌افزای مثبت و معنی‌دار آن‌ها بر میزان این صفت تا سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۴). در مطالعات صورت گرفته بر روی گیاهان سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)، مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica*)، پونه (*Mentha pulegium*) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) نیز مشخص شد تشدید تنش شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز گردید و کاربرد سالیسیلیک اسید با بهبود سطح این آنزیم به افزایش توان سیستم دفاعی گیاه کمک نمود (Aryan et al., 2018; Farhadi and Ghassemi-Golezani, 2020; Naghdi Badi et al., 2009; Zarei et al., 2019). پراکسیدازها از دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه هستند که مسئولیت مهار گونه‌های پراکسید تولید شده در هنگام وقوع تنش‌ها از جمله تنش شوری را بر عهده دارند. بر اساس مطالعات صورت گرفته، تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بیان ژن‌های کدکننده این گروه آنزیم‌ها را افزایش می‌دهد (Xi et al., 2021). بر این اساس با توجه به نتایج بدست آمده، افزایش فعالیت این آنزیم در گیاه لعل کوهستان در هنگام مواجهه با سطوح بالای تنش شوری یکی از پاسخ‌های دفاعی آن جهت مقابله با رادیکال‌های تولید شده ناشی از تنش شوری می‌باشد. بهبود فعالیت این آنزیم در گیاه محلول‌پاشی شده با سالیسیلیک اسید را نیز می‌توان به اثر مثبت این تنظیم‌کننده بر افزایش میزان بیان و فعالیت آنزیم مذکور، نسبت داد.

کاربرد سالیسیلیک اسید دارای اثر مثبت معنی‌دار بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بود و بالاترین میزان این صفت به ترتیب در محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر با غلظت ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید ثبت شد (جدول ۴). بررسی تاثیر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر توان آنتی‌اکسیدانی گیاه سیاه‌دانه در برابر تنش شوری نیز نشان داد کاربرد این تنظیم‌کننده، مقاومت گیاه را بالا برده و سبب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردید (Zarei et al., 2019). بهبود توان دفاعی گیاه توسط سالیسیلیک اسید در برابر تنش شوری در سایرگیاهان دارویی از جمله نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)، پونه (*Mentha pulegium*) و رزماری (*Rosmarinus officinallis*) نیز گزارش شده است (Abdi and Karami, 2020; El-Esawi et al., 2017; Farhadi and Ghassemi-Golezani, 2020). آنزیم آسکوربات پراکسیداز یکی دیگر از سدّهای دفاعی گیاه در زدودن رادیکال‌های آزاد پراکسید هیدروژن است که در سیتوپلاسم، میتوکندری و کلروپلاست سلول وجود دارد. اگرچه آنزیم کاتالاز نیز در مهار رادیکال‌های فوق نقش دارد؛ اما بدلیل حضور آنزیم کاتالاز در پراکسی‌زوم، خنثی‌سازی مولکول‌های پراکسید هیدروژن تولید شده در سیستم فتوسنتزی گیاه، توسط دو فرم آنزیم آسکوربات پراکسیداز (متصل به غشاء تیلاکوئید و استرومایی) موجود در کلروپلاست، انجام می‌شود. سالیسیلیک اسید بیان ژن کدکننده این آنزیم را تحت تاثیر قرار داده و سبب افزایش تولید آن می‌گردد (Xi et al., 2021). در نتیجه، افزایش میزان فعالیت این آنزیم در تیمار محلول‌پاشی گیاه لعل کوهستان با تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری را می‌توان به اثر هم‌افزای تنش شوری و کاربرد تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید مرتبط دانست.

اثر مثبت و معنی‌دار دو عامل تنش شوری و تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز تا سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر ادامه یافت و پس از آن،

شدت تنش وارده در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر از میزان این صفت نسبت به سایر تیمارها کاست (جدول ۴). تحقیقات انجام شده بر روی سایر گیاهان دارویی نیز حاکی از افزایش سطح فعالیت این آنزیم در پاسخ به تنش شوری در گیاهان نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) و کاکنج (*Withania somnifera*) بودند (Jaleel et al., 2008; Khalvandi et al., 2019; Naghdi Badi et al., 2009). در بررسی تاثیر سالیسیلیک اسید بر میزان فعالیت پلی‌فنول اکسیداز، Aryan et al., (2018) گزارش نمودند کاربرد این تنظیم‌کننده با بهبود بخشیدن میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز، مقاومت گیاه مرزه خوزستانی را بالا می‌برد. پلی‌فنول‌ها گروهی از متابولیت‌های ثانویه در گیاهان هستند که در زمره آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی به شمار می‌آیند. آنزیم پلی‌فنول اکسیداز از طریق اکسیداسیون این ترکیبات و تبدیل آن‌ها به فنول‌های ساده و کوئینون‌ها، سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد ناشی از وقوع تنش می‌شود (Constabel and Barbehenn, 2008). از سوی دیگر، کوئینون‌های تولید شده توسط این آنزیم، با تغییر پروتئین‌های روده حشرات و گیاهخواران، سبب ایجاد خاصیت ضدتغذیه‌ای و دورکنندگی در گیاه می‌گردند. با توجه به اثرات منفی تنش‌هایی مانند تنش شوری بر مقاومت گیاه نسبت به سایر تنش‌ها از جمله تنش‌های زیستی، افزایش فعالیت آنزیم فوق در گیاه علاوه بر کاهش صدمات ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد سبب تقویت سیستم دفاعی گیاه در برابر آسیب گیاهخواران و حشرات می‌گردد. بر این اساس، بهبود میزان فعالیت آنزیم فوق در گیاه لعل کوهستان در شرایط شوری را می‌توان نوعی راهکار جهت ایجاد مقاومت در برابر سایر تنش‌ها تلقی نمود. سالیسیلیک اسید نیز به عنوان یک پیام‌رسان در تحریک تولید و فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز عمل نموده و در مکانیسم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های زیستی نقش ایفا می‌کند (Constabel and Barbehenn, 2008). بر این اساس افزایش فعالیت آنزیم در گیاه لعل کوهستان تیمار شده با این تنظیم‌کننده را شاید بتوان نوعی سازوکار مقاوم‌سازی گیاه در برابر تنش‌های زیستی در نظر گرفت.

بالاترین میزان فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در تیمار گیاهان تحت تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر با غلظت‌های ۵۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۴). (Farhadi and Ghassemi-Golezani (2020 در مطالعه‌ای دیگر، به افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز هنگام تشدید تنش شوری و اثر مثبت کاربرد سالیسیلیک اسید بر تحریک تولید آن در گیاه پونه اشاره نمودند. آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز از طریق آمین‌زدایی اسید آمینه فنیل آلانین، سبب تولید سینامیک اسید می‌شود. کلیه ترکیبات فنولی که در گروه ترکیبات آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی محافظ گیاه نقش ایفا می‌کنند، از سینامیک اسید مشتق می‌شوند (Lattanzio, 2013). با توجه به نتایج تحقیق حاضر به نظر می‌رسد افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در گیاه لعل کوهستان تحت تنش شوری نوعی استراتژی دفاعی گیاه جهت تولید ترکیبات فنولی است. مطالعات انجام شده بر روی تاثیر کاربرد ترکیبات ضدتنش نیز نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش بیان این آنزیم می‌گردد به‌طوری که بخشی از مقاومت اکتسابی مرتبط با این تنظیم‌کننده را به فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز نسبت می‌دهند (Wen et al., 2005). بر این اساس تاثیر مثبت این تنظیم‌کننده را می‌توان عامل بهبود فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در گیاهان محلول‌پاشی شده با این ترکیب در تحقیق حاضر دانست.

کربوهیدرات محلول کل

نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد اثر ساده تنش شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید و برهمکنش آن‌ها، میزان کربوهیدرات محلول کل برگ گیاه لعل کوهستان را به‌طور معنی‌داری تغییر داد (جدول ۳). بالاترین میزان صفت فوق در گیاهان تیمار شده با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید در تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد؛ اما تفاوت معنی‌داری میان این تیمار و غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر این تنظیم‌کننده مشاهده نشد (جدول ۴). در مطالعاتی مشابه بر روی گیاهان آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) و به‌لیمو (*Lippia citrodora*) مشخص گردید تنش شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده دارای تاثیر مثبت و هم‌افزا بر افزایش سطح کربوهیدرات‌های محلول در این گیاهان است (Farsaraei et al., 2019; Harati et al., 2016). کربوهیدرات‌های محلول، از جمله اسمولیت‌های بسیار مهم دخیل در حفظ فشار تورژسانس سلول و موثر در جذب آب به شمار می‌آیند (Orcutt and Nilsen, 2000). بعلاوه، این ترکیبات با برقراری پیوند با زنجیره‌های قطبی پروتئین‌های غشاء و فسفولیپیدهای

آن، دارای نقش کلیدی در پایداری و محافظت از ساختار غشاء در برابر رادیکال‌های آزاد می‌باشند (Kerepesi and Galiba, 2000). بر این اساس با توجه به نتایج تحقیق حاضر، افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول گیاه لعل کوهستان در هنگام مواجهه با سطوح شوری ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، پاسخ دفاعی گیاه به تنش شوری به منظور افزایش جذب آب و حفظ بقاء است. کاهش میزان این صفت در تنش شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند ناشی از شدت آسیب وارده بر گیاه و سلول‌های ریشه و اختلال در جذب آب و عناصر غذایی باشد. تاثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر تولید کربوهیدرات محلول گیاه تحت تنش شوری را نیز می‌توان به نقش پیام‌رسان آن در تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی جهت محافظت از گیاه و سیستم فتوسنتزی آن در برابر آسیب رادیکال‌های آزاد تولید شده ناشی از تنش مذکور مرتبط دانست. Sartip and Sirusmehr (2017) نیز در تحقیقی دیگر بر روی گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum*) به تاثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل و کربوهیدرات محلول کل گیاه اشاره نمودند.

پرولین

تغییرات میزان تولید پرولین در گیاه لعل کوهستان حاکی از تاثیر معنی‌دار اثرات ساده تنش شوری و کاربرد برگی سالیسیلیک اسید و برهمکنش آن‌ها بود (جدول ۳). در بررسی اثربخشی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید بر میزان تولید پرولین گیاهان تحت تنش شوری مشخص گردید کاربرد این تنظیم‌کننده، میزان صفت فوق را در گیاه نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد (جدول ۴). (Zarei et al., 2019) در بررسی پاسخ گیاه سیاه‌دانه به تنش شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید به افزایش میزان پرولین گیاه با بالا رفتن سطوح تنش شوری اشاره و گزارش نمودند تنظیم‌کننده مذکور با بهبود سطح این ترکیب، به مقاوم‌سازی گیاه در برابر تنش شوری کمک می‌کند. اسید آمینه پرولین از جمله ترکیباتی است که با تنظیم فشار اسمزی نقش مهمی در حفظ آب سلول‌های گیاه در هنگام مواجهه با تنش دارد. در تولید پرولین دو آنزیم پرولین-۵-کربوکسیلات ردوکتاز و پرولین اکسیداز نقش دارند. تنش شوری با افزایش فعالیت آنزیم پرولین-۵-کربوکسیلات ردوکتاز و سرکوب آنزیم پرولین اکسیداز سبب افزایش تولید پرولین می‌گردد (Farhadi and Ghassemi-Golezani, 2020). بر این اساس، افزایش میزان این ترکیب در گیاه لعل کوهستان تحت سطوح بالای تنش شوری را می‌توان ناشی از تاثیر تنش فوق بر افزایش میزان بیان و فعالیت آنزیم‌های دخیل در تولید پرولین دانست. برخی مطالعات نشان می‌دهد کاربرد سالیسیلیک اسید دارای اثر مثبت بر فعالیت آنزیم پرولین کربوکسیلات ردوکتاز و تولید پرولین، بتائین و گلایسین در تنش شوری جهت بهبود مقاومت گیاه است (Farhadi and Ghassemi-Golezani, 2020). بر این اساس، با توجه به نتایج تحقیق حاضر، نقش این تنظیم‌کننده در تنظیم فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین می‌تواند عاملی دیگر در افزایش تولید آن در گیاه محلول‌پاشی شده با تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید باشد.

مالون دی‌آلدهید

بررسی پاسخ گیاه لعل کوهستان به تنش شوری و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نشان‌دهنده اثر معنی‌دار دو عامل فوق و برهمکنش آن‌ها بر میزان تولید مالون دی‌آلدهید در گیاه بود (جدول ۳). کاربرد تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید سبب کاهش تولید مالون دی‌آلدهید در گیاهان تحت تنش شوری گردید؛ اما با افزایش سطح تنش از میزان اثر بخشی آن کاسته شد (جدول ۴). در ارزیابی روند تغییرات میزان ترکیب مالون دی‌آلدهید در گیاه سیاه‌دانه مشخص گردید تنش شوری سبب افزایش تولید این ترکیب در این گیاه گردید و محلول‌پاشی آن توسط سالیسیلیک اسید با بهبود مقاومت گیاه، از پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تولید مالون‌دهید می‌کاهد (Zarei et al., 2019). مالون دی‌آلدهید یکی از محصولات نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلول است که میزان آن در نتیجه افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در گیاه بالا می‌رود (Bandeoglu et al., 2004). بر این اساس، به نظر می‌رسد افزایش تولید این ترکیب در گیاه لعل کوهستان بدنبال تشدید تنش شوری، بدلیل افزایش تخریب لیپیدهای غشاء در نتیجه تنش ثانویه اکسیداتیو و تولید بالای رادیکال‌های آزاد باشد. تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید نیز از طریق تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در هنگام وقوع انواع تنش‌ها، سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و محافظت از اجزای غشاء سلولی از جمله لیپیدهای آن می‌گردد (Liu et al., 2022). بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، تاثیر کاربرد سالیسیلیک اسید بر کاهش میزان تولید مالون دی‌آلدهید در گیاه لعل کوهستان تحت شرایط تنش

شوری را می‌توان ناشی از نقش مثبت این تنظیم‌کننده در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تحریک تولید ترکیبات مهارکننده رادیکال‌های آزاد از جمله پرولین در حفاظت از لیپیدهای غشاء سلول‌ها دانست.

عناصر سدیم و پتاسیم

غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در برگ گیاه لعل کوهستان به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر برهمکنش تنش شوری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد سالیسیلیک اسید سبب کاهش تجمع عنصر سدیم در برگ گیاه شد و میزان عنصر پتاسیم را در سطوح ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌دار افزایش داد (جدول ۴). در تحقیقی مشابه، تنش شوری موجب افزایش یون سدیم و کاهش عنصر پتاسیم در برگ گیاه شوید گردید و محلول‌پاشی آن توسط تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید، ورود عنصر سدیم را کاهش و میزان عنصر پتاسیم را بالا برد (Ghassemi-Golezani et al., 2022). شباهت بار یونی و اندازه شعاع این عنصر با یون پتاسیم و تمایل بالاتر کانال‌های انتخابی و غیرانتخابی یون پتاسیم در غشاء به عنصر سدیم، سبب رقابت این دو عنصر در ورود به سلول و افزایش جذب سدیم از سلول‌های ریشه می‌گردد (Miller et al., 2010; Parida and Das, 2005). این عنصر پس از ورود به فضای آپوپلاستی، از طریق جایگزینی با یون کلسیم، غشاء سلولی را دپلاریزه نموده و سبب افزایش نشت یون پتاسیم از کانال‌های خارج‌کننده این عنصر می‌شود. تجمع یون سدیم در سلول سبب اختلال در فعالیت آنزیم‌های وابسته به پتاسیم و سایر فرآیندهای طبیعی گیاه می‌گردد (Sairam et al., 2005). بر این اساس افزایش غلظت املاح در خاک را می‌توان از جمله دلایل تجمع عنصر سدیم و کاهش میزان پتاسیم در گیاه لعل کوهستان در سطوح بالای تنش شوری عنوان نمود. در مقابل، تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم H^+-ATPase و تنظیم کانال‌های یک‌سویه وابسته به ولتاژ یون پتاسیم سبب کاهش خروج این عنصر و افزایش احتباس آن در سلول می‌گردد. از سوی دیگر، افزایش فعالیت پمپ‌های H^+ غشاء تحت تاثیر تنظیم‌کننده سالیسیلیک اسید سبب ایجاد نیرو محرکه لازم برای فعالیت کانال Na^+ / H^+ جهت خروج یون سدیم از سیتوپلاسم سلول می‌شود (Jayakannan et al., 2013). بنابراین در تحقیق حاضر، کاهش میزان عنصر سدیم و افزایش یون پتاسیم در گیاهان محلول‌پاشی شده توسط این تنظیم‌کننده را می‌توان با تاثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر کانال‌های انتقال‌دهنده عنصر پتاسیم در غشاء، مرتبط دانست.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر گیاه لعل کوهستان در پاسخ به تنش شوری تا سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر مکانیسم دفاعی خود را فعال ساخته و با تولید کربوهیدرات محلول کل، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تنش شوری را تحمل می‌کند. با این حال، تجمع املاح در سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و آسیب وارده ناشی از عناصر سدیم و کلر احتمالا از طریق شکستن سدّ دفاع آنزیمی گیاه و کاهش شدید در تولید اسمولیت‌های محافظ اسمزی، سیستم دفاعی گیاه را با افت شدید مواجه ساخته و به شدت از توان مقاومتی آن می‌کاهد. نتایج تاثیر محلول‌پاشی توسط سالیسیلیک اسید نیز نشان داد کاربرد این تنظیم‌کننده حتی در بالاترین سطح شوری اعمال‌شده (۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) دارای اثربخشی مثبت و معنی‌دار در کاهش اثرات مخرب تنش مذکور بود و با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی، مقاومت گیاه لعل کوهستان را بهبود بخشید. بر این اساس، با توجه به اهمیت مطالعه آستانه تحمل به شوری گیاهان دارویی و یافتن راهکار به منظور افزایش سطح تحمل تنش مذکور در این گیاهان، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در قیاس با غلظت‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر آن جهت افزایش مقاومت گیاه، کارآمد و قابل توصیه است.

سپاس‌گزاری

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره « ۴۰۰۰۹۹۲ » انجام شده است. همچنین، بدینوسیله، از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GNSCU.AH1401.775) در انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Abdi, G., & Karami, L. (2020). Salicylic acid effects on some physiochemical properties and secondary metabolite accumulation in *Mentha piperita* L. under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science,* 34(1), 81-91.

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.

Amin, G., Sourmaghi, M.S., Zahedi, M., Khanavi, M., & Samadi, N. (2005). Essential oil composition and antimicrobial activity of *Oliveria decumbens*. *Fitoterapia,* 76(7-8), 704-707.

Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental and Experimental Botany,* 175, 1-19.

Aryan, Z., Merati, M.J., Ebrahimzadeh Mabood, H., Hadian, J., & Mirmasoumi, M. (2018). Analysis of the effect of salt stress and salicylic acid on some physiological and biochemical features of Savory (*Satureja khuzistanic*. Jamzad). *Iranian Journal of Biology,* 31(1), 1-11. [In Persian]

Bandeoglu, E., Eyidoğan, F., Yücel, M., & Avni Öktem, H. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regulation,* 42, 69-77.

Bates, L., Waldren, R.A., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil,* 39, 205-207.

Beyer, J., Wayne, F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Analytical Biochemistry,* 161(2), 559-566.

Constabel, C.P., & Barbehenn, R. (2008). Defensive roles of polyphenol oxidase in plants. *In: Schaller, A. (eds) Induced Plant Resistance to Herbivory*. Springer, Dordrecht.

El-Esawi, M.A., Elansary, H.O., El-Shanhorey, N.A ,.Abdel-Hamid, A.M., Ali, H.M., & Elshikh, M.S. (2017). Salicylic acid-regulated antioxidant mechanisms and gene expression enhance rosemary performance under saline conditions. *Frontiers in Physiology,* 8, 1-14.

Farhadi, N., & Ghassemi-Golezani, K. (2020). Physiological changes of *Mentha pulegium* in response to exogenous salicylic acid under salinity. *Scientia Horticulturae,* 267, 1-8.

Farsaraei, S., Moghadam, M., & Mehdizadeh, L. (2019). Effect of salicylic acid on growth and biochemical characteristics and essential oil percentage of Lemon verbena at different irrigation water salinity. *Journal of Water Research in Agriculture,* 33(1), 95-107. [In Persian]

Ghahraman, A. (1998). Color flora of Iran. *Research Institute of Forests and Pastures of the country,* 8(1), 124. [In Persian]

Ghassemi-Golezani, K., Nikpour-Rashidabad, N., & Samea-Andabjadid, S. (2022). Application of growth promoting hormones alters the composition and antioxidant potential of dill essential oil under salt stress. *Scientific Reports,* 12(1), 1-11.

Habibi, H., & Ghahtan, N. (2020). Effect of Melilotus officinalis, *Oliveria decumbens* Vent and *Aloe vera* L on production performance, biochemistry characteristics and meat microbial count in Japanese quail. *Iranian Journal of Animal Science Research,* 2(2), 211-222. [In Persian]

Hamada, A., & El-Enany, A. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum,* 36, 75-81.

Harati, E., Kashefi, B., & Matinizadeh, M. (2016). Investigation of reducing detrimantal effects of salt stress on morphological and physiological traits of (*Thymus daenensis* Celak.) through salicylic acid application. *Iranian Journal of Plant Physiology,* 5(3), 1383-1391. [In Persian]

Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.

Jaleel, C.A., Lakshmanan, G., Gomathinayagam, M., & Panneerselvam, R. (2008). Triadimefon induced salt stress tolerance in *Withania somnifera* and its relationship to antioxidant defense system. *South African Journal of Botany,* 74(1), 126-132.

Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2013). Salicylic acid improves salinity tolerance in Arabidopsis by restoring membrane potential and preventing salt-induced K^+ loss via a GORK channel. *Journal of Experimental Botany,* 64(8), 2255-2268.

Joushan, Z., Sodeizadeh, H., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Yazdani Biouki, R., & Khajahhosseini, S. (2020). Investigating the Effect of Foliar Application of Glycine Betaine on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Mint (*Mentha spicata* L) under Salinity Stress. *Plant Productions,* 43(2), 267-280. [In Persian]

Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology,* 57(2), 315-319.

Karami, A., Khoshbakht, T., Esmaeili, H., & Maggi, F. (2020). Essential oil chemical variability in *Oliveria decumbens* (Apiaceae) from different regions of Iran and its relationship with environmental factors. *Plants,* 9(6), 1-14.

Kerepesi, I., & Galiba, G. (2000). Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science,* 40(2), 482-487.

Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Keramati, S., & Hosseini, J. (2019). Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with Piriformospora indica and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crops and Products,* 127, 195-202.

Lattanzio, V. (2013). Phenolic compounds: introduction 50. *Journal of Natural Products*, 1543-1580.

Liu, J., Qiu, G., Liu, C., Li, H., Chen ,X., Fu, Q., Lin, Y., & Guo, B. (2022). Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. *Life,* 12(6), 1-25.

Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment,* 33(4), 453-467.

Mozafarian, V. (2003). Khuzestan Flora. *Natural Resources and Livestock Research Center of Khuzestan Province,* 1(1), 283. [In Persian]

Naghdi Badi, H., Soroushzadeh, A., Sharifi, M., Ghalavand, A., Saadat, S., & Rezazadeh, S. (2009). Biochemical and antioxidant responses of borage seedlings in saline environments. *Journal of Medicinal Plants,* 8(5), 13-23.

Nakano, Y., & Asada, K. (1987). Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant and cell physiology,* 28(1), 131-140.

Orcutt, D.M., & Nilsen, E.T. (2000). *Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors* (Vol. 2). London, John Wiley & Sons.

Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 60(3), 324-349.

Plewa, M.J., Smith, S.R., & Wagner, E.D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis,* 247(1), 57-64.

Rebey, I.B., Rahali, F., Tounsi, M.S., Marzouk, B., & Ksouri, R. (2016). Variation in fatty acid and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) seeds as affected by salinity. *Journal of New Sciences,* 15, 1233-1240.

Roozdar, E., Habibpour, B., Mossadegh, M.S., & Mahmoodi Sourestani, M. (2020). Lethal effects of formulated essential oils on *Phenacoccus solenopsis* (Hem.: Pseudococcidae), under the laboratory and fields conditions. *Journal of Applied Research in Plant Protection,* 9(3), 11-27. [In Persian]

Ruley, A.T., Sharma, N.C., & Sahi, S.V. (2004). Antioxidant defense in a lead accumulating plant, Sesbania drummondii. *Plant Physiology and Biochemistry,* 42(11), 899-906.

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.

Sairam, R., Srivastava, G., Agarwal, S., & Meena, R. (2005). Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biologia Plantarum,* 49, 85-91.

Sartip, H. & Sirusmehr, A. (2017). Evaluation of the effects of salicylic acid consumption on growth, yield and some biochemical characteristics of Cumin (*Cuminum cyminum*) under three different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4): 547-558.

Shafeiee, M., & Ehsanzadeh, P. (2019). Physiological and biochemical mechanisms of salinity tolerance in several fennel genotypes: Existence of clearly-expressed genotypic variations. *Industrial Crops and Products,* 132, 311-318.

Shamsaddin Saied, M., & Pourghasemian, N. (2021). Investigation of the Growth and Physiological Reactions of Kochia Plant to Simultaneous Stress of Salinity and Cadmium. *Plant Productions,* 44(4), 459-474. [In Persian]

Sheligl, H. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta,* 47, 510-526.

Wang, J.W., Zheng, L.P., Wu, J.Y., & Tan, R.X. (2006). Involvement of nitric oxide in oxidative burst, phenylalanine ammonia-lyase activation and Taxol production induced by low-energy ultrasound in Taxus yunnanensis cell suspension cultures. *Nitric Oxide,* 15(4), 351-358.

Wen, P.F., Chen, J.Y., Kong, W.F., Pan, Q.H., Wan, S.B., & Huang, W.D. (2005). Salicylic acid induced the expression of phenylalanine ammonia-lyase gene in grape berry. *Plant Science,* 169(5), 928-934.

Xi, D., Li, X., Gao, L., Zhang, Z., Zhu, Y., & Zhu, H. (2021). Application of exogenous salicylic acid reduces disease severity of Plasmodiophora brassicae in pakchoi (*Brassica campestris* ssp. chinensis Makino). *PLoS One,* 16(6), 1-11.

Zarei, B., Fazeli, A., & Tahmasebi, Z. (2019). Salicylic acid in reducing effect of salinity on some growth parameters of Black cumin (*Nigella sativa*) [Research]. *Journal of Plant Process and Function,* 8(29), 287-298. [In Persian]

Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.-K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The innovation,* 1(1), 1-41.