Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Effect of Salicylic Acid on some Morphological and Biochemical Traits of Rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress

Seyedeh Elham Farhangjou[1], Ramezanali Khavarinezhad[2], Sara Saadatmand[*3], Farzaneh Najafi[4], Babak Babakhani[5]

1. Ph.D. Student, Dept. of Biology, Faculty of Basic Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: s.e.farhangju@gmail.com
2. Professor, Dept. of Biology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: ra.khavarinejad@gmail.com
3. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Biology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: sadatmandsara@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: f_najafi@yahoo.com
5. Associate Prof., Dept. of Biology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran. E-mail: babakhani_babak@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 10.23.2022
Revised: 11.23.2022
Accepted: 01.01.2023

Keywords:
Antioxidant,
Growth index,
Malondialdehyde,
Proline,
Salicylic acid

ABSTRACT

Background and Objectives: Rice is one of the important crops that is sensitive to salinity stress, especially in the early stages of growth. Today, the use of plant growth regulators such as salicylic acid has made plants resistant to environmental stresses such as salinity. The purpose of this research was to study the effect of salicylic acid application on some morphological and biochemical characteristics of rice plants under salt stress.

Materials and Methods: For this purpose, factorial plant stabilization based on completely random design with 5 levels of salinity (0, 25, 50, 75, 100 mM sodium chloride) and 3 levels of salicylic acid (0, 0.5, 1 mM) was performed in 3 repetitions. The measured traits included germination percentage, length of shoot and root, amount of total protein, malondialdehyde, proline and activity of some antioxidant enzymes.

Results: The results of this research showed that salinity caused a significant decrease in germination percentage, stem and root length, and decreased protein activity, while in plants treated with salicylic acid, the amount of this reduction is moderated. The highest germination percentage was observed in control and 25mM salt stress treatment and decreased by increasing salt treatment up to 100 mM treatment. The highest shoot length observed in 25 mM salt with salicylic acid in 0.5 mM concentration. The highest and the lowest root length derived by 75mM salt stress with 1mM salicylic acid and 100 mM salt stress without any salicylic acid treatments respectively. Protein measurement in different treatment indicated that increasing of salt stress cause decreasing the leaf protein content especially in 100 mM salt concentration. In all salt treatments, salicylic acid increased the leaf protein content, and raising the salicylic acid from 0 to 1 mM cause increasing the leaf protein content. The highest leaf protein content was measured in without salt treatment with 1mM salicylic acid. Salt stress caused rising the malondialdehyde content in 100 mM salt treatment rather than other treatments, but salicylic acid application in 0.5 and 1 mM concentration decreased it. On the other hand, the increase in the amount of

biochemical traits including proline, antioxidant enzyme (superoxide dismutase) shows the role of one millimolar salicylic acid consumption in increasing the tolerance of this plant against salt stress. While the salinity stress, the activity of malondialdehyde, the activity of the antioxidant enzyme (catalase) increased, the use of salicylic acid reduces the oxidative stress by reducing the activity of these traits, which increases the resistance of the plant under stress.

Conclusion: Salicylic acid improves the studied properties and increases morphological traits (germination percentage, growth parameters) and biochemical traits (proline, protein activity, superoxide dymothase enzyme), as well as reduced maxloxidide activity (catalase). It reduces the plant's resistance under salinity stress. Considering that most regions of Iran suffer from salinity, the use of salicylic acid during salinity stress can be effective in mitigating the destructive effects of salinity stress.

Cite this article: Farhangjou, Seyedeh Elham, Khavarinezhad, Ramezanali, Saadatmand, Sara, Najafi, Farzaneh, Babakhani, Babak. 2023. Effect of Salicylic Acid on some Morphological and Biochemical Traits of Rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress. *Journal of Plant Production Research*, 30 (2), 163-182.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2023.20675.2970
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی صفات ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی گیاهچه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری

سیده الهام فرهنگ‌جو[۱]، رمضانعلی خاوری‌نژاد[۲]، سارا سعادتمند*[۳]، فرزانه نجفی[۴]، بابک باباخانی[۵]

۱. دانشجوی دکتری گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: s.e.farhangju@gmail.com

۲. استاد گروه گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: ra.khavarinejad@gmail.com

۳. نویسنده مسئول، دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: sadatmandsara@gmail.com

۴. دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: f_najafi@yahoo.com

۵. دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، ایران. رایانامه: babakhani_babak@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

واژه‌های کلیدی:
آنتی‌اکسیدان،
اسید سالیسیلیک،
پرولین،
شاخص رشد،
مالون‌دی‌آلدئید

چکیده

سابقه و هدف: برنج یکی از گیاهان زراعی مهم است که به ویژه در مراحل اولیه رشد، به تنش شوری حساس است. کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی مانند اسید سالیسیلیک ممکن است باعث ایجاد مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی از جمله شوری شود. هدف از این پژوهش مطالعه اثر کاربرد اسید سالیسیلیک بر برخی از خصوصیات ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی گیاه برنج تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با پنج سطح شوری (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و سه سطح اسید سالیسیلیک (۰، ۰/۵، ۱ میلی‌مولار) روی برنج رقم ندا در سه تکرار انجام شد. صفات اندازه‌گیری شامل درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، میزان پروتئین کل، مالون‌دی‌آلدئید، پرولین و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و آنزیم کاتالاز بودند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار بر میزان درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و کاهش فعالیت پروتئین شد. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد (بدون شوری) و شوری در سطح ۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد و با افزایش سطح شوری تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار میزان جوانه‌زنی کاهش یافت. بیش‌ترین میزان

طول ساقه‌چه نیز در غلظت ۲۵ میلی‌مولار شوری همراه با اسید سالیسیلیک در ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. بیش‌ترین و کم‌ترین طول ریشه‌چه نیز به ترتیب در تیمار ۷۵ میلی‌مولار شوری همراه با یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار شوری بدون اسید سالیسیلیک به‌دست آمد. اندازه‌گیری میزان پروتئین در تیمارهای مختلف نشان داد که افزایش سطح شوری موجب کاهش میزان پروتیئن برگ به‌خصوص در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار شوری گردید. در تمامی غلظت‌های شوری، اسید سالیسیلیک میزان پروتئین برگ را افزایش داد و با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از صفر به یک میلی‌مولار موجب روند افزایشی میزان پروتیئن برگ گردید. بیش‌ترین میزان پروتئین برگ در تیمار بدون شوری و غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد. شوری موجب افزایش فعالیت مالون دی آلدئید در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمارهای دیگر شد اما کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار موجب کاهش تولید آن شد. از طرف دیگر افزایش مقدار صفات زیست‌شیمیایی از جمله پرولین، آنزیم آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسیددیسموتاز) نشان‌دهنده نقش مصرف یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بر افزایش تحمل این گیاه در برابر تنش شوری است. در حالی‌که تنش شوری، میزان فعالیت مالون‌دی‌آلدئید و آنزیم آنتی‌اکسیدان (کاتالاز) افزایش یافت که تیمار گیاه با اسید سالیسیلیک با کاهش فعالیت این صفات، تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهد که باعث افزایش مقاومت گیاه تحت تنش می‌شود.

نتیجه‌گیری: تیمار اسید سالیسیلیک صفات بررسی شده را بهبود می‌دهد و با افزایش صفات ریخت‌شناسی (درصد جوانه‌زنی، پارامترهای رشد) و صفات زیست شیمیایی (پرولین، فعالیت پروتئین، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز)، هم‌چنین با کاهش میزان فعالیت مالون‌دی‌آلدئید، آنزیم آنتی‌اکسیدان (کاتالاز) تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهد که باعث افزایش مقاومت گیاه تحت تنش شوری می‌شود. با توجه به این‌که بیش‌تر مناطق ایران از شوری رنج می‌برند، استفاده از اسید سالیسیلیک طی تنش شوری می‌تواند در تخفیف اثرات مخرب ناشی از تنش شوری مؤثر باشد.

استناد: فرهنگ‌جو، سیده الهام، خاوری‌نژاد، رمضانعلی، سعادتمند، سارا، نجفی، فرزانه، باباخانی، بابک (۱۴۰۲). تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی صفات ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی گیاهچه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۲)، ۱۸۲-۱۶۳.

DOI: 10.22069/JOPP.2023.20675.2970

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات زراعی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، شوری خاک در مناطقی که برای تولید محصولات زراعی به آبیاری نیاز است، اجتناب‌ناپذیر است. این پدیده به یک مشکل عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است (۱). بیش‌تر محصولات بسیار حساس به شوری هستند، بنابراین کاهش زیست‌توده و عملکرد معمولاً مشاهده می‌شود (۲).

با افزایش غلظت نمک، سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. شوری با ایجاد تغییرات مضر در تعادل یون‌ها، وضعیت آب، عناصر غذایی، عملکرد روزنه و کارایی فتوسنتز، باعث کاهش فرآیندهای رشد و نموی گیاه مانند جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نهایت کاهش میزان تولید محصول می‌شود (۳ و ۴). افزایش غلظت اسمولیت‌ها در شرایط تنش‌زا یک سازوکار شناخته شده برای سازش اسمزی در برابر غلظت‌های بالای یونی می‌باشد که هیدرولیز پروتئین‌ها و افزایش اسید آمینه‌های مانند پرولین مثال مناسبی در این زمینه می‌باشد (۵). افزایش پرولین در گیاهان در زمان تنش، نوعی سازوکار دفاعی است. پرولین با چندین سازوکار از جمله تنظیم اسمزی و جلوگیری از تخریب آنزیم گیاه را در برابر تنش‌ها بالا می‌برد (۲ و ۶). سطوح بالای اسمولیت از جمله پرولین با افزایش تحمل تنش از طریق محافظت از آنزیم‌هایی که مسئول مهار ROS هستند، ارتباط دارد (۷). از سوی دیگر مطالعات نشان داده است، افزایش پرولین باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش غیرزیستی از جمله شوری می‌شود (۸).

تنش شوری به صورت منفی بر سوخت و ساز پروتئین تأثیر می‌گذارد. این کاهش می‌تواند به‌علت کاهش سنتز پروتئین، تسریع پروتئولیز، کاهش در اسید آمینه، فراهم و یا واسررشته شدن آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین‌ها باشد (۹). گیاهان برای مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو القا شده با شوری و یا خشکی، از سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی استفاده می‌کنند. گزارش‌های متعددی وجود دارد که بیان‌کننده افزایش تنش اکسیداتیو در هنگام تنش شوری و به تبع آن افزایش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی است (۱۰). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر اثر تیمار اسید سالیسیلیک در تنش شوری در گیاهان از جمله اسفناج (۱۱) ذرت (۱۲) و درمنه (۱۳) گزارش شده است.

این ترکیبات شیمیایی قدرت مدیریت فرآیندهای زیادی مانند دسترسی شیره پرورده، کنترل فرآیند رشد در شرایط تنش و محدودیت‌های محیطی را در گیاهان به عهده دارند. در این میان استفاده از شبه هورمون‌ها که خصوصیاتی شبیه به هورمون دارند استفاده وسیعی پیدا کرده است که در بین این شبه هورمون‌ها اسید سالیسیلیک اهمیت بسیار زیادی دارد. این شبه هورمون با تأثیر بر روی فعالیت‌های بیولوژیکی و زیست‌شیمیایی در گیاهان ممکن است نقش مهمی در تنظیم رشد و فعالیت گیاهان داشته باشد (۱۴). اسید سالیسیلیک در برابر تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی می‌تواند با حفظ بهتر پتانسیل آب گیاه، تنظیم اسمزی، حفظ بازدهی فتوسنتز، تنظیم هدایت روزنه‌ای و افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدان آنزیمی باعث رشد بهینه و عملکرد مناسب گیاه می‌شود (۱۵). کاربرد اسید سالیسیلیک علائم سمیت به‌وجود آمده در اثر شوری از طریق تغییر فعالیت‌های سیستم‌های غیرآنزیمی و آنزیمی بهبود می بخشد (۱۶ و ۱۷).

تیمار اسید سالسیلیک تأثیر خسارت شوری بر رشد گیاه برنج را کاهش داده و تکمیل مراحل رشد را تسریع کرد. با توجه به اهمیت برنج در برنامه غذایی انسان‌ها، همواره رشد آن متأثر از شوری آب و خاک است، بررسی اثر تیمارهایی مانند اسیدسالسیلیک که نقش مهمی در کاهش اثر شوری دارند دارای اهمیت است. بنابراین این پژوهش با هدف، بررسی اثر تنش شوری بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک و

زیست‌شیمیایی گیاهچه برنج و کاربرد اسید سالیسیلیک برای کاهش خسارت و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شوری و در نتیجه بررسی امکان رشد گیاه در مناطق شور است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ضدعفونی بذر، ابتدا بذرهای سالم و یکنواخت (از نظر اندازه) برنج رقم ندا، سال تولید ۱۴۰۰، پس از شستشوی اولیه به‌مدت پنج دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد سترون و سپس چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند و به این ترتیب آماده کشت گردید.

برای ضدعفونی کردن، بذرها در زیر هود لامینار به‌مدت پنج دقیقه در هیپوکلریت سدیم پنج درصد قرار داده شدند و پس از آبکشی با آب مقطر استریل، به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۹۶ درصد قرار گرفتند و در نهایت چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند. برای جوانه‌زنی، بذرها درون پتری‌دیش قرار داده شدند و درب پتری‌دیش‌ها را با پارافیلم کاملاً بسته و در ژرمیناتور در دمای ۱ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰-۹۰ درصد قرار گرفت. تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر پتری به فواصل ۲۴ ساعت شمارش و ثبت شدند. جوانه‌زنی زمانی ثبت شد که ریشه‌چه از پوست خارج گردید و بیش‌تر از دو میلی‌متر شده بودند. بعد از جوانه‌زنی بذرها و تشکیل گیاهچه کامل (۲۰ روز پس از جوانه‌زنی اولیه) تیمارهای اسید سالیسیلیک و کلرید سدیم روی اندام هوایی (برگ و ساقه‌چه) برنج رقم ندا صورت پذیرفت. در مرحله تیماردهی اسید سالیسیلیک، محلول‌هایی با غلظت‌های (۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) تهیه شد و هر روز به‌مدت یک هفته روی اندام هوایی گیاهچه‌های حاصل از بذر (دانهال) اسپری شد. برای ایجاد تنش شوری از محلول کلرید سدیم با غلظت‌های (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و به میزان ۱۰ میلی‌لیتر در هر پتری‌دیش استفاده شد. تیمارهای شوری هر روز به‌مدت یک هفته روی دانهال‌ها اعمال شد. بعد از پایان تیماردهی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه با استفاده از خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. طول ساقه‌چه از یقه تا قسمت انتهایی ساقه و طول ریشه‌چه از یقه تا انتهای ریشه در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی به‌وسیله تست تیوباربیتوریک اسید (TBAT) با سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید (MDA) انجام شد (۱۸).

برای سنجش محتوی پرولین مقدار ۰/۵ گرم برگ تازه به قطعات کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر بریده شده و همرا با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد یا اسید سولفوریک ۳ درصد در یک هاون چینی کوچک به‌مدت ۳ دقیقه ساییده شد. ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ۲ میلی‌لیتر از معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک برای مدت ۱ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از سرد شدن محلول فوق مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به‌مدت ۲۰ ثانیه به‌شدت بهم زده می‌شود. سپس جذب نوری محلول رویی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نور مرئی[1] در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (۱۹). برای اندازه‌گیری پروتئین با استفاده از روش Bradford (۲۰) استفاده شد. جذب عصاره در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده و منحنی استاندارد پروتئین با استفاده از آلبومین سرم گاوی (BSA) رسم انجام شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از سنجش مهار احیاء نوری (Nitro Blue Tetrazolium (NBT) در طول موج ۵۶۰ نانومتر (۲۱) صورت گرفت. استخراج آنزیم کاتالاز در چهار درجه سانتی‌گراد از بافر فسفات‌پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار

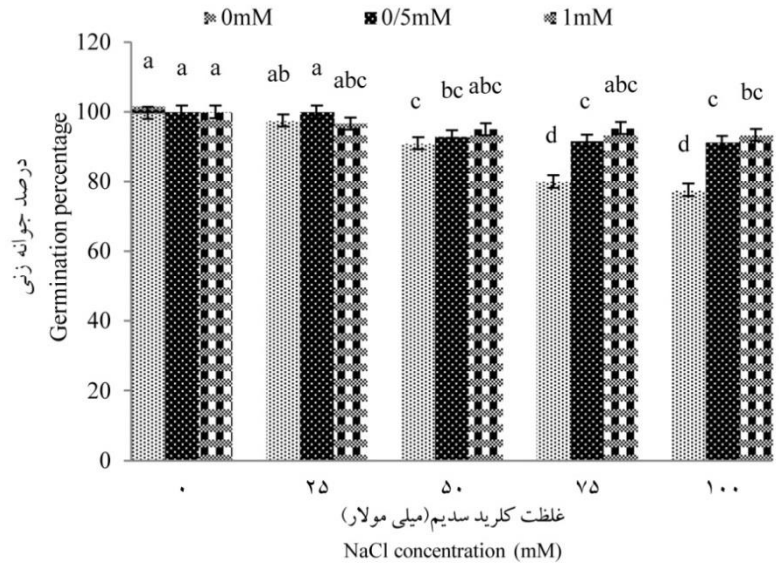
1- Spectophotometr

شامل EDTA یک میلی‌مولار و PPVP دو درصد استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز به دنبال کاهش جذب H_2O_2 با ضریب خاموشی (۳۹/۴ $Mm^{-1}cm^{-1}$) به مدت دو دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر تعیین شد (۲۲).

تجزیه آماری در این پژوهش بر اساس آزمایش فاکتوریل (فاکتورهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. آنالیز واریانس دو طرفه و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون دانکن با در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها و تنظیم داده‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

تأثیر بر همکنش کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک بر درصد جوانه‌زنی بذر برنج رقم ندا: با افزایش سطح شوری میزان درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری در گیاه برنج کاهش یافت. غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار شوری درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). اما کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت‌های (۰/۵، ۱ میلی‌مولار) سبب افزایش درصد جوانه‌زنی شده است ولی اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد. اما تیمار هم‌زمان با اسید سالیسیلیک باعث تعدیل اثرات منفی تنش شوری روی درصد جوانه‌زنی بذرها شده است (شکل ۱).



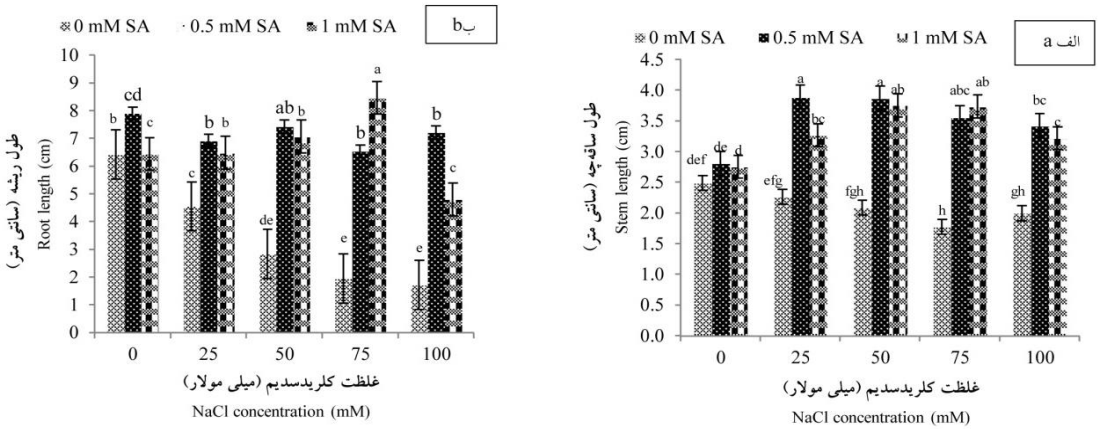
شکل ۱- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر درصد جوانه‌زنی برنج رقم ندا.
حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش دانکن است.

Fig. 1. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid treatments on the germination percentage of rice var. Neda.
The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش غلظت نمک، درصد جوانه‌زنی بذرها کاهش یافته است اما تیمار هم‌زمان با اسید سالیسیلیک باعث جلوگیری از کاهش درصد جوانه‌زنی در تیمار شوری شده است. آثار منفی شوری بر کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای خربزه (*Cucumis melo* var. inodorus) (۲۳)، گیاه ماش سیاه (*Phaseolus mungo*) (۲۴)، گیاه خاکشیر (*Descurainia Sophia*) (۲۵) قبلاً نیز گزارش شده

است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. رطوبت کم همراه با تنش شوری باعث توقف سوخت و ساز و یا جلوگیری مراحل متابولیکی در طی جوانه‌زنی می‌گردد و مختل شدن آنزیم‌های مؤثر در سوخت و ساز به‌دلیل اتصال یون‌ها به ساختمان مولکولی آن‌ها، عامل اصلی این کاهش می‌باشد (۲۶). تنش شوری با تأثیر بر روی تنظیم‌کننده‌هایی مانند جیبرلین، اکسین و اسید آبسیزیک و تغییر در فعالیت آنزیم‌های سوخت‌وساز کربوهیدرات‌ها و نیز با تأثیر بر کارایی و نفوذپذیری غشاء پلاسمایی و دیواره سلولی و ورود و خروج یون‌ها به سلول، جوانه‌زنی بذور را دستخوش تغییر می‌کند (۲۷). در پژوهش‌های انجام شده بر گیاهان توتون (۲۸) و هویج (۲۹) مشاهده شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث تحریک جوانه‌زنی بذر می‌شود. هم‌چنین، تیمار بذرهای گوجه‌فرنگی و لوبیا با اسید سالیسیلیک میزان مقاومت به تنش‌هایی مانند شوری و خشکی را افزایش داده است (۳۰). به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش آثار سمّی و مخرب تنش شوری می‌شود و با افزایش سطوح هورمون‌های اکسین و سیتوکینین در بذرها (که در تحریک جوانه‌زنی مؤثرند) جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (۳۱). اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر در سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش اثرات سمّی و مخرب تنش شوری شده و جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد.

تأثیر تیمارهای مختلف شوری، اسید سالیسیلیک بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه برنج رقم ندا: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که گیاهان با غلظت‌های مختلف شوری سبب کاهش طول ساقه‌چه گیاه نسبت به گروه شاهد گردید (شکل ۲-الف). هم‌چنین تیمار گیاهان با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان طول ساقه‌چه به گروه شاهد شد. اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف شوری نشان داد که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش طول ساقه‌چه شد. به‌طوری که تیمار گیاه با اسید سالیسیلیک در این صفت اثر مثبتی در بهبود تنش شوری داشته است.



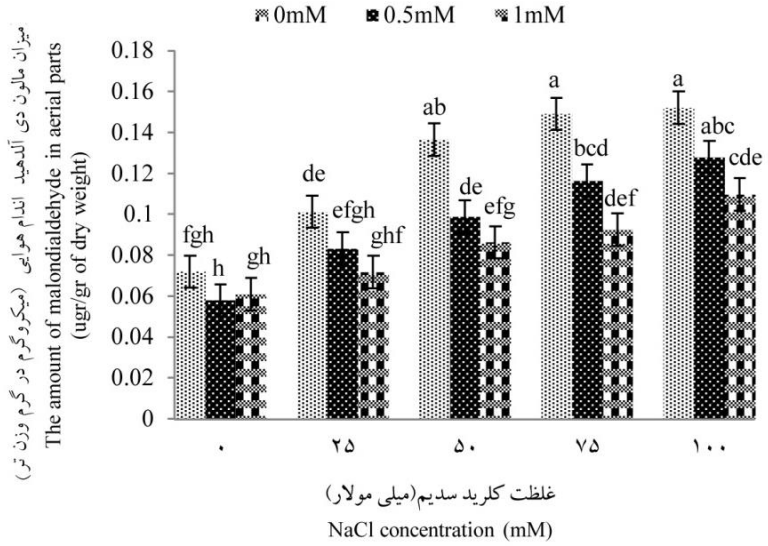
شکل ۲- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر طول ساقه‌چه (الف) و ریشه‌چه (ب) گیاهچه برنج رقم ندا.
حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

Fig. 2. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid treatments on the length of stem (a) and root (b) of rice var. Neda.
The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

نتایج نشان داد با افزایش میزان شوری، طول ریشه‌چه در گیاهچه‌های تحت تنش کاهش یافت (شکل ۲–ب). بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تیمار شاهد و کم‌ترین میزان در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. اثر متقابل اسید سالیسیلیک و شوری، در تمامی غلظت‌های شوری، غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش طول ریشه‌چه گیاه شده است. با توجه به شکل زیر، کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار توانسته است میزان طول ریشه‌چه گیاه تحت تنش شوری با غلظت ۷۵ میلی‌مولار را افزایش دهد.

تنش شوری همانند بسیاری از تنش‌های غیرزیستی دیگر، رشد گیاه را محدود می‌کند. توقف رشد طولی ساقه‌چه، ریشه‌چه و کاهش تولید مواد گیاهی از علایم معمول تنش اکسیداتیو است (۳۲). ذخیره انرژی متابولیکی ممکن است اساس کاهش رشد در شرایط شوری باشد. در این شرایط انرژی لازم برای تنظیم یونی و اسمزی زیادتر شده و انرژی رشد کاهش می‌یابد. در نتیجه جوانه‌زنی طولانی‌تر، طویل شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه را مهار می‌کند (۳۳). با افزایش سطح شوری میزان طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌طور معنی‌داری در گیاه برنج کاهش یافت. نتایج حاصله با گیاه نیشکر (۳۴)، آق اوستا (۳۵)، به‌لیمو (*Lippia citriodora*) (۳۳)، سه ژنوتیپ زینتی انار (۳۷)، نعنا (۳۸) مطابقت داشت. شوری با تأثیر منفی بر نفوذپذیری غشاء، تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها و هم‌چنین بر ساخت پروتئین و فعالیت‌های آنزیمی، می‌تواند باعث کاهش رشد طولی ریشه‌چه و ساقه‌چه گردد (۲۶ و ۳۹). سازوکاری که اسید سالیسیلیک رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه در برخی از گیاهان را افزایش می‌دهد به خوبی شناخته نشده است اما احتمالاً اسید سالیسیلیک طویل شدن و تقسیم سلولی را به همراه مواد دیگری از جمله هورمون اکسین تنظیم می‌کند (۴۰). در پژوهشی، وجود اسید سالیسیلیک را عامل افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه گندم و جو گزارش کردند (۴۱). در آزمایش دیگر مشخص شد اسید سالیسیلیک از طریق القای تولید اسیدآبسیزیک در پیش‌سازش (Precursor) گیاهان بر تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی مؤثر است، زیرا اسیدآبسیزیک دارای نقش مهمی در واکنش‌های حفاظتی گیاهان و القای سنتز طیفی از پروتئین های تنشی است (۴۲). Parmoon و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که در گیاه بابونه تنش شوری باعث کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شده و تیمار بذر با اسید سالیسیلیک باعث افزایش طول ساقه‌چه تحت شرایط تنش شوری شده است (۴۳). همچنین گزارش شده که این ماده تعادل هورمونی را در گیاه تغییر و باعث تحریک تولید اکسین و سیتوکینین می‌گردد در نتیجه اسید سالیسیلیک باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (۳۴ و ۴۰).

تأثیر بر همکنش کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک بر میزان پراکسیداسیون لیپیدها گیاه برنج رقم ندا: با توجه به شکل ۳ نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین، با افزایش غلظت شوری میزان پراکسیداسیون لیپیدی افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان مالون دی‌آلدئید، شوری با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت‌های (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) باعث کاهش این صفت شده است، اما اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد. هم‌چنین بررسی اثر متقابل تنش شوری و اسید سالیسیلیک نشان می‌دهد که غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیش‌ترین تأثیر در کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید داشته است (شکل ۳).



شکل ۳- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان مالون‌دی‌آلدهید در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم ندا.

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش دانکن است.

Fig. 3. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid treatments on the amount of malondialdehyde in the aerial parts of rice var. Neda.

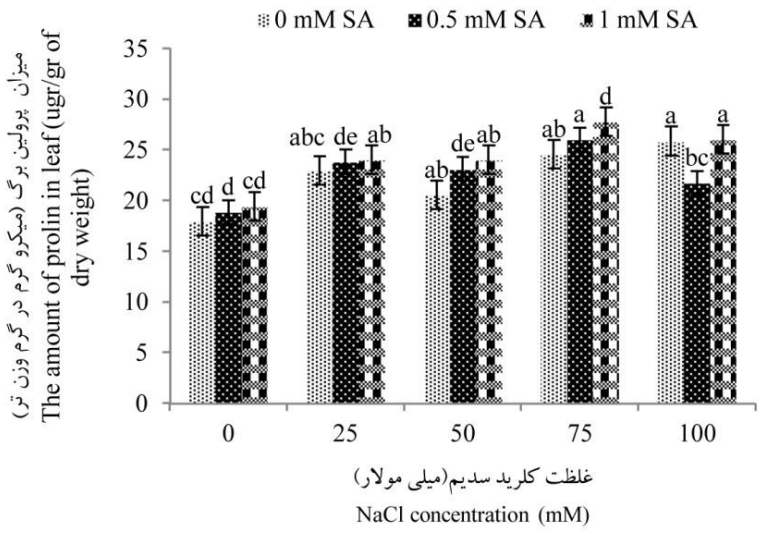
The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

یکی دیگر از سازوکارهای مقاومت در برابر تنش‌های محیطی مانند شوری، تنش کم آبی وابسته به دو لایه لیپیدی و اسیدهای چرب غیراشباع آن است که در طی تنش باعث پایداری غشاء می‌شود. از تغییرات زیست‌شیمیایی که تحت تنش شوری اتفاق می‌افتد، تولید انواع اکسیژن‌های فعال می‌باشد. انواع اکسیژن‌های فعال برای سلول‌ها بسیار سمّی هستند و در غیاب سازوکار حفاظتی قوی ایجاد می‌شود و به سوخت و ساز عادی لیپیدها، پروتئین و اسید نوکلئیک آسیب می‌زنند (۴۴). در این مطالعه، غلظت مالون دی‌آلدئید (فرآورده پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی)، تحت تنش شوری روند افزایشی را نشان داد که علت افزایش آن، تولید رادیکال‌های سوپراکسید در شرایط تنش است. تولید رادیکال‌های سوپراکسید باعث پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید می‌شود، در واقع مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان نشانگر زیستی برای اندازه‌گیری لیپیدها شناخته می‌شود (۴۵).

تنش شوری باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی برگ‌های چغندر (*Beta vulgaris*) (۴۶)، عدس (۴۷)، استویا (۴۸) و اسفناج (۱۱) می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. علت افزایش مالون دی‌آلدئید می‌تواند به دلیل افزایش رادیکال‌های آزاد از جمله پراکسید هیدروژن باشد که در هنگام تنش شوری ایجاد می‌شود (۳۱). تنش شوری سبب کاهش یکپارچگی غشاء سلولی و آزاد شدن الکترولیت‌ها و مواد درون‌سلولی خواهد شد زمانی‌که اسید سالیسیلیک به تنهایی به‌کار برده شد مقدار مالون دی‌آلدهید تغییری نکرد، اما زمانی که تیمار شوری و اسید سالیسیلیک با هم به‌کار برده شدند مقدار مالون دی‌آلدهید کاهش یافت که می‌تواند به‌علت توانایی اسید سالیسیلیک در جلوگیری از تولید رادیکال‌های آزاد باشد، زیرا این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون لیپیدها شده و سنتز ماکرومولکول‌های غشاء سلولی و سیتوپلاسم را تغییر می‌دهند. نتایج مشابهی در گیاهانی

مانند خرفه (۴۹) و گندم (۴۸) به‌دست آمده است. افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید در اثر تنش شوری و کاهش آن در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در عدسک آبی (۵۰) و گیاه ذرت (۱۲) مشاهده شده است و خطر تنش اکسیداتیو کاهش می‌یابد. اسید سالیسیلیک به نوعی با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها از طریق اثر بر سازوکارهای دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی، از گیاه ذرت در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند (۴۵). این گونه به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی گیاهان به واسطه موادی از جمله کاروتنوئیدها باعث کاهش مقدار H_2O_2 و پراکسیداسیون لیپیدها و حفاظت بیش‌تر از غشاهای سلولی می‌شود. اسید سالیسیلیک سبب کاهش معنی‌داری در پراکسیداسیون لیپیدها تحت تنش شوری می‌شود.

تأثیر بر همکنش کلرید سدیم، اسید سالیسیلیک بر میزان محتوی پرولین برنج رقم ندا: نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین محتوی پرولین نشان داد که تیمار کلریدسدیم و اسیدسالیسیلیک در غلظت‌های مختلف مقدار پرولین برگ برنج رقم ندا را به‌طور معنی‌داری افزایش داد به‌طوری‌که کم‌ترین میزان پرولین در شرایط بدون تنش (شاهد) و بالاترین میزان پرولین در شرایط ۱۰۰ میلی‌مولار شوری به‌دست آمد (شکل ۴). با توجه به شکل ۴، غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک، بالاترین افزایش میزان پرولین در تیمار یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و پایین‌ترین میزان در تیمار شاهد به‌دست آمد، اما اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد. هم‌چنین اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک، غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در تمامی سطوح شوری سبب افزایش میزان پرولین شده است (شکل ۴).



شکل ۴- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان پرولین برگ گیاهچه برنج رقم ندا.

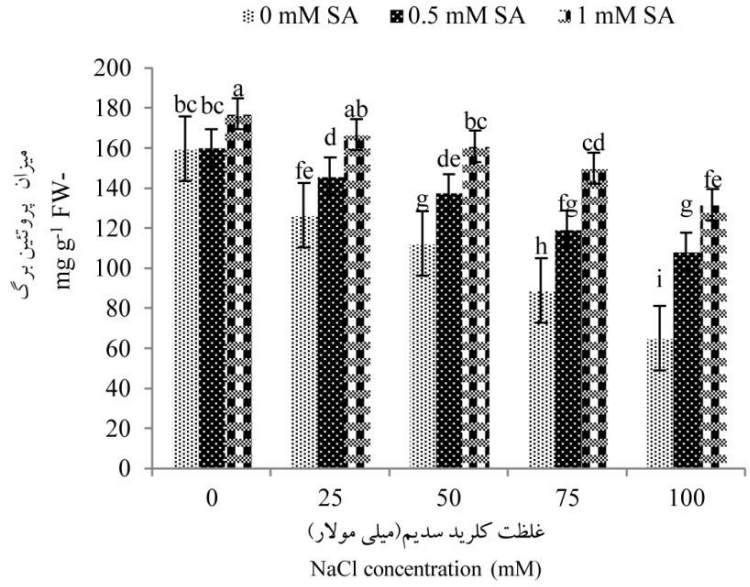
حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش دانکن است.

Fig. 4. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid treatments on the amount of proline in leaf of rice var. Neda.

The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

تجمع پرولین در بافت‌های گیاه یکی از متداول‌ترین تغییرات القا شده ناشی از تنش شوری در گیاه است. تجمع پرولین ممکن است به علت کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات و یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد (۵۱). پرولین در سلول‌های تحت تنش نقش آنتی‌اکسیدانی دارد و با تجمع در سیتوپلاسم سلول‌ها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی درون‌سلولی تجمع نمک را در واکوئل تنظیم می‌کند (۵۲). در این مطالعه، مقدار پرولین تحت تنش شوری افزایش نشان داد. این نتیجه با نتایج لوبیا سبز، تره ایرانی (۵۳)، آفتابگردان (۵۴) و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (۵۵) با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. که نشان دهنده به کار افتادن سامانه مقاومتی گیاه و تولید اسمولیت در برابر آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه است. به‌طور کلی عواملی که باعث افزایش تجمع پرولین در تنش‌های مختلف می‌شود عبارتند از تحریک سنتز از پیش‌ماده خود (اسید گلوماتیک)، کاهش فعالیت پرولین اکسیداز و تخریب پروتئین و آزاد شدن اسیدهای آمینه (۳۳). در گیاهانی مانند جو، گندم، لوبیا و گوجه‌فرنگی با تیمار اسید سالیسیلیک، طی تنش اکسیداتیو میزان پرولین افزایش می‌یابد و این افزایش منجر به مقاومت در برابر از دست دادن آب، افزایش محتوی ساقه‌چه و تسریع رشد گیاهان در شرایط تنش می‌شود (۵۶). تیمار اسید سالیسیلیک در هر دو شرایط شوری و غیرشوری، محتوی پرولین را نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌دهد. مطالعات قبلی نیز نشان داد که در گیاهان گوجه‌فرنگی (۵۷) و ریحان (۵۸) به دنبال تنش اکسیداتیو، مقدار تجمع پرولین و قندها با تیمار هورمون اسید سالیسیلیک افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. یکی از دلایل افزایش پرولین احتمالاً افزایش آبسیزیک‌اسید درون‌زا می‌باشد که باعث القای تولید پرولین می‌شود. اسید سالیسیلیک نیز احتمالاً از طریق القای سنتز ترکیبات حدواسطی مثل اسید آبسیزیک، واکنش محافظت را ایجاد کرده و آسیب شوری را در گیاه کاهش می‌دهد و از کاهش سیتوکینین و اکسین تحت تنش شوری و خشکی که سبب کاهش رشد گیاه می‌شود، جلوگیری می‌کند (۴۰). زیرا اسید آبسیزیک در پاسخ به تنش‌های شوری و خشکی ایجاد می‌شود و با انباشتگی پرولین گیاهان را از آسیب وارده از تنش‌ها محافظت می‌کند.

نتایج مربوط به تأثیر برهم‌کنش کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان فعالیت پروتئین برگ برنج رقم ندا: بر اساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش سطح شوری میزان فعالیت پروتئین کاسته شد (شکل ۵). به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان پروتئین مربوط به شاهد و کم‌ترین مقدار پروتئین مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد. تیمار اسید سالیسیلیک در غلظت یک میلی‌مولار میزان پروتئین برگ را به‌طور مشخصی افزایش داد. هم‌چنین نتایج نشان داد که تیمار گیاه با شرایط شوری باعث کاهش معنی‌دار محتوی پروتئینی شده است اما برهم‌کنش اسید سالیسیلیک و شوری باعث شده است تا حدودی میزان پروتئین برگ در مقایسه با شرایط تنش شوری افزایش یابد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان پروتئین برگ گیاهچه برنج رقم ندا.

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش دانکن است.

Fig. 5. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid on treatments on the amount of protein in leaf of rice var. Neda.

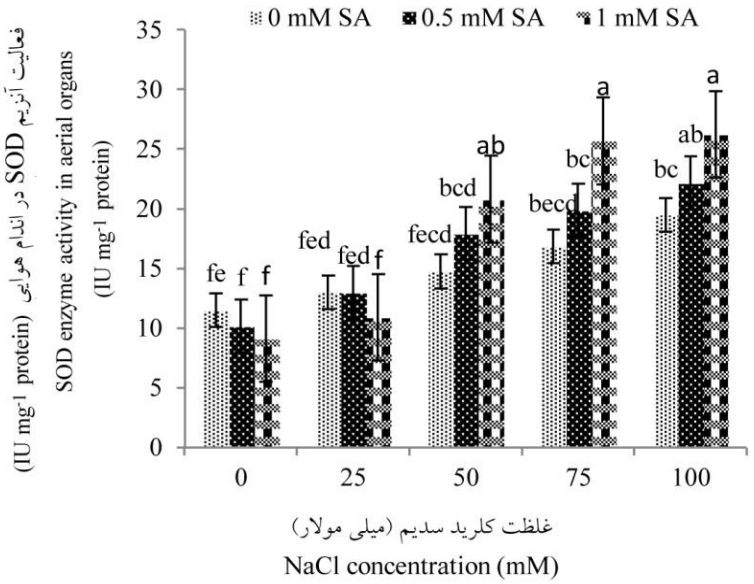
The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

یکی از فرآیندهای مهم درون‌سلولی، سنتز پروتئین است که شدیداً تحت‌تأثیر تغییر شرایط محیطی و تنش قرار گرفته و به همراه آن فتوسنتز، جابجایی متابولیت‌ها و جذب و انتقال یون‌ها نیز تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. این کاهش می‌تواند به‌دلیل کاهش سنتز پروتئین، تسریع پروتئولیز، کاهش در اسید آمینه فراهم و یا واسرشته شدن آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین باشد (۹). در این مطالعه محتوی پروتئین با افزایش غلظت شوری کاهش یافت. پروتئین‌ها تحت شرایط شوری به‌ویژه در غلظت‌های بالای شوری کاهش می‌یابد که نشانه‌ای از تجزیه زیستی (تجزیه توسط سازوکارهای درون گیاه بر اثر فعالیت‌های خود گیاه) پروتئین در حضور کلریدسدیم است. میزان جذب یون پتاسیم در شرایط شوری از جمله سدیم در محیط رشد گیاه کاهش خواهد یافت که با کاهش جذب پتاسیم تحت شرایط تنش شوری، عملکرد ریبوزوم مختل شده و سنتز پروتئین نیز به دنبال آن کاهش می‌یابد (۵۹).

تیمار اسید سالیسیلیک احتمالاً با بیان یک سری از ژن‌های دخیل در شرایط تنش سبب افزایش میزان پروتئین‌های دخیل در کاهش تنش و انواع متفاوتی از کینازها و روبیسکو می‌شود و به گیاه در حفظ حالت طبیعی خود کمک می‌کند (۶۰). در این پژوهش، در اثر تنش شوری، مقدار پروتئین برگ‌ها کاهش یافت. این کاهش در محتوای پروتئین می‌تواند به علت کاهش فعالیت آنزیم‌هایی مانند نیترات ردکتاز و گلوتامین سنتتاز در اثر تنش باشد. به‌طوری‌که تیمار با اسید سالیسیلیک توانسته است باعث افزایش پروتئین برگ در سطوح مختلف شوری شود. در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) (۶۱)، گل تکمه‌ای (*Gomphrena globosa* L.) (۶۲)، گیاه بادرنجبویه (۶۳) و رازیانه (۶۴) نتایج مشابه با این پژوهش گزارش شده است. افزایش پروتئین‌های القاء شده توسط اسید سالیسیلیک احتمالاً به حفظ اسمولاریته در سلول‌های تحت تنش شوری کمک می‌کند.

همین‌طور افزایش پروتئین القاءشده با اسید سالیسیلیک در رشد گیاه تحت تنش نمک، می‌تواند به‌علت تغییرات ایجاد شده با اسید سالیسیلیک در فرآیندهای فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی باشد (۶۵).

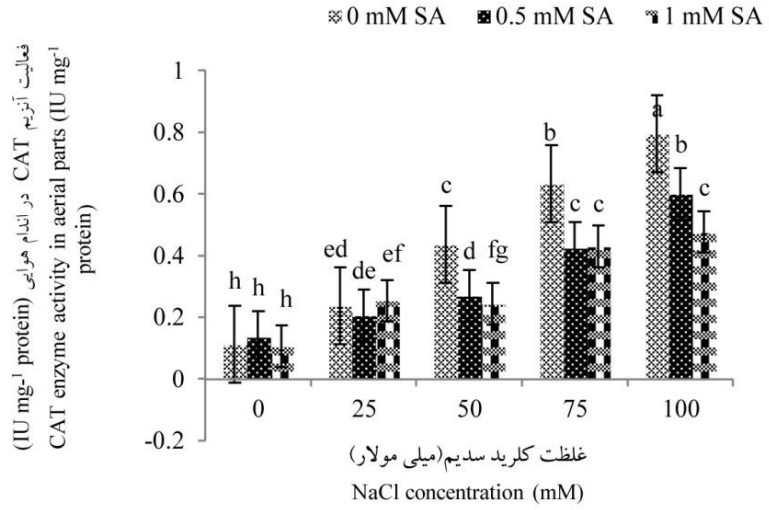
نتایج مربوط به تأثیر بر همکنش کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) برگ گیاهچه برنج رقم ندا: با توجه به شکل ۶ مشخص است که سطح فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در گیاهچه برنج، با افزایش غلظت شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد و در مقایسه با سایر غلظت‌های شوری داشت. این آنزیم در خنثی کردن رادیکال آزاد سوپر اکسید نقش مهمی ایفا می‌کند. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک نیز بر فعالیت آنزیمی معنادار بود و باعث افزایش فعالیت آنزیم شده است (شکل ۶).



شکل ۶- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان پرولین ائدام هوایی گیاهچه برنج رقم ندا.
حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش دانکن است.

Fig. 6. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid treatments on the amount of proline in aerial parts rice var. Neda.
The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

نتایج مربوط به تأثیر بر همکنش کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) برگ گیاهچه برنج رقم ندا: با توجه به شکل ۷ نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به شدت تحت‌تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد. فعالیت کاتالاز، با سطوح مختلف شوری نسبت به گیاه شاهد افزایش معنی‌دار داشته است. به‌طوری‌که کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد و بیش‌ترین فعالیت آنزیم مربوط به سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری مشاهده شد. هم‌چنین در تیمارهای شوری با سطوح‌های ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار با تأثیر هم‌زمان اسید سالیسیلیک، غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است (شکل ۷).



شکل ۷- اثر متقابل تیمارهای کلرید سدیم و اسید سالیسیلیک بر میزان پرولین اندام هوایی گیاهچه برنج رقم ندا.
حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش دانکن است.

Fig. 7. The interaction effect of sodium chloride and salicylic acid treatments on the amount of proline in aerial parts of rice var. Neda.
The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level according to Duncan method.

هنگامی که گیاه در برابر تنش‌های محیطی قرار بگیرد، تعادل بین گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر و فعالیت خنثی‌کردن آن‌ها از طریق سیستم آنتی‌اکسیدانی از بین می رود و در نتیجه پدیده‌ای ایجاد می‌شود که تحت عنوان تنش اکسیداتیوی نامگذاری می‌شود (۶۶). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری در برگ افزایش یافت. اسید سالیسیلیک اثرات دوگانه‌ای بر سوخت‌وساز گیاهان دارد. این ماده در غلظت‌های پایین به صورت یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند و با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، گونه‌های فعال به وجود آمده از تنش اکسیداتیو را جاروب می‌کند و منجر به بهبود وضعیت حاصل از تنش می‌شود (۱۱). در این پژوهش کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گیاهچه برنج تحت تنش شوری شده است. تیمار گیاه گوجه‌فرنگی (۲۹)، گیاه لوبیا (۶۷) با اسید سالیسیلیک، از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، آسیب‌های ناشی تنش شوری را بهبود بخشید، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. اسید سالیسیلیک با افزایش دادن مقاومت گیاهچه‌ها به شوری از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌ها برای مقابله با تنش عمل می‌کند (۳۱). اسید سالیسیلیک با افزایش مقاومت گیاهان به شوری از طریق زیاد کردن فعالیت آنزیم‌ها برای مقابله با تنش عمل می‌کند (۶۷).

از آن‌جایی‌که در پژوهش حاضر، تیمار هم‌زمان اسید سالیسیلیک و شوری باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز برگ شده است، بنابراین کاربرد اسید سالیسیلیک قبل از مواجه با تنش شوری باعث افزایش مقاومت گیاه برنج به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری شده است. مطالعه روی برگ گیاه آفتابگردان (۶۸) تحت تنش شوری نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری شد و از این طریق فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز کاهش داد، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در واقع اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه احتمالاً ترکیباتی از سیستم انتقال‌دهنده پیام هستند، زیرا تحت تنش

شوری، افزایش اسید سالیسیلیک درونی اتفاق می‌افتد که کاتالاز را مهار کرده و تجمع آب اکسیژنه را در پی دارد. هم‌چنین، اسید سالیسیلیک به‌دلیل داشتن اکسیژن در گروه هیدروکسیل خود با پیوند با آنزیم کاتالاز باعث احیاء حلقه بنزوئیک شده و قادر به کلاته کردن آهن در کاتالاز شده که به دنبال آن کاهش فعالیت آنزیم مشاهده می‌شود (۶۹). کاهش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی با کاربرد اسید سالیسیلیک به دلیل نقش مستقیم، تنظیم‌کننده رشد گیاهی (اسید سالیسیلیک) در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که سبب کاهش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز می‌شود (۵).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر غلظت‌های محتلف اسید سالیسیلیک، شوری و اثر برهمکنش هم‌زمان اسید سالیسیلیک و شوری بر پارامترهای ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی در گیاه برنج مورد مطالعه قرار گرفت. تنش شوری می‌تواند سبب اختلال در فرآیند رشد و نمو گیاه شود و از طرفی، اسید سالیسیلیک نقش مهمی در رشد و فعالیت ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک گیاه دارد. تیمار اسید سالیسیلیک ویژگی‌های بررسی شده را بهبود می‌دهد و با افزایش صفات ریخت‌شناسی (درصد جوانه‌زنی، پارامترهای رشد) و صفات زیست‌شیمیایی (پرولین، فعالیت پروتئین، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز)، هم‌چنین با کاهش میزان فعالیت مالون‌دی‌آلدئید، آنزیم آنتی‌اکسیدان (کاتالاز) تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهد که باعث افزایش مقاومت گیاه تحت تنش شوری می‌شود. با توجه به این‌که بیش‌تر مناطق ایران از شوری رنج می‌برند پیشنهاد می‌گردد که به استفاده از هورمون گیاهی اسید سالیسیلیک طی تنش شوری در دراز مدت توجه بیش‌تری گردد، در تخفیف اثرات مخرب ناشی از تنش شوری مؤثر باشد.

منابع

1. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Physio*. 161 (11), 1189-1202.
2. Zorb, C., Geilfus, C. M. & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant. Biol.* 21, 31-38.
3. Maness, N. (2010). Extraction and analysis of soluble carbohydrates. *In Plant Stress Tol.* Pp: 341-370.
4. Alencar, N. L., Gadelha, C. G., Gallao, M. I., Dolder, M. A., Prisco, J. T. & Gomes-Filho, E. (2015). Ultrastructural and biochemical changes induced by salt stress in *Jatropha curcas* seeds during germination and seedling development. Func. *Plant Biol*. 42 (9), 865-874.
5. Singh, P. K. & Gautam, S. (2013). Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Acta Phys. Planta*. 35 (8), 2345-2353.
6. Bukhat, S., Manzoor, H., Athar, H. U. R., Zafar, Z. U., Azeem, F. & Rasul, S. (2020). Salicylic acid induced photosynthetic adaptability of *Raphanus sativus* to salt stress is associated with antioxidant capacity. *Plant Grow. Regu.* 39 (2), 809-822.
7. Stevens, J., Senaratna, T. & Sivasithamparam, K. (2006). Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization. *Plant Grow. Regu.* 49 (1), 77-83.
8. Bostani, A. A. (2017). The effect of auxin and cytokinin on the biochemical parameters and peroxidase activity (H_2O_2) of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under salinity stress. *J. Soil Plant Inter*. 8 (3), 91-105.

9.Muthukumarasamy, M., Gupta, S. D. & Panneerselvam, R. (2000). Influence of triadimefon on the metabolism of NaCl stressed radish. *Bio. Planta*. 43 (1), 67-72.
10.Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. & Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Grow. Regu*. 53 (3), 185-194.
11.Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J. & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Grow. Regu*. 55 (3), 207-219.
12.Momeni, N., Arvin, M. J., Khagoei Negad, G., Keramat, B. & Daneshmand, F. (2013). Effects of sodium chloride and salicylic acid on some photosynthetic parameters and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) plants. *J. Plant Bio.* 5 (15), 15-30. [In Persian]
13.Eskandari, Z. K., Shirani, R. A., Moradi, A. A. & Taherkhani, T. (2013). Effect of salicylic acid application under salinity conditions on physiologic and morphologic characteristics of Artemisia (*Artemisia annua* L.). *Eco. Phys. Agri. Plant*. 6, 415-427. [In Persian]
14.Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Env. Exp. Bot.* 68 (1), 14-25.
15.Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E. & Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*. 7 (1), p.e05908.
16.Belkadhi, A., De Haro, A., Soengas, P., Obregon, S., Cartea, M. E., Chaibi, W. & Djebali, W. (2014). Salicylic acid increases tolerance to oxidative stress induced by hydrogen peroxide accumulation in leaves of cadmium-exposed flax (*Linum usitatissimum* L.). *J. Plant Intera.* 9 (1), 647-654.
17.Mimouni, H., Wasti, S., Manaa, A., Gharbi, E., Chalh, A., Vandoorne, B., Lutts, S. & Ahmed, H. B. (2016). Does salicylic acid (SA) improve tolerance to salt stress in plants? A study of SA effects on tomato plant growth, water dynamics, photosynthesis, and biochemical parameters. *Omics J. Integ. Bio*. 20 (3), 180-190.
18.Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Bioch. & Biophy*. 125 (1), 189-198.
19.Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*. 39 (1), 205-207.
20.Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Ana. Bioch.* 72 (1-2), 248-254.
21.Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. *Plant Phys.* 59 (2), 309-314.
22.Dhindsa, R. S. & Matowe, W. (1981). Drought tolerance in two mosses: correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation. *J. Exp. Bot.* 32 (1), 79-91.
23.Maffei, M., Bertea, C. M., Garneri, F. & Scannerini, S. (1999). Effect of benzoic acid hydroxy-and methoxy-ring substituents during cucumber (*Cucumis sativus* L.) germination. I.: Isocitrate lyase and catalase activity. *Plant Scie.* 141 (2), 139-147.
24.Dash, M. & Panda, S. K. (2001). Salt stress induced changes in growth and enzyme activities in germinating *Phaseolus mungo* seeds. *Bio. Planta*. 44 (4), 587-589.
25.Mozafari, H. & Manouchehr, K. K. (2005). The effect of Calcium ion on changes growth, accumulation of nutrient elements and electrophoretic pattern of polypeptides in *Descurainia sophia* under salt stress. *Bio. Iran*. Pp: 24-35.

26.Othman, Y., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. R. & Al-Horani, A. (2006). Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. *World J. Agric. Sci*. 2 (1), 11-15.
27.Kaur, S., Gupta, A. K. & Kaur, N. (2002). Effect of osmo-and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Grow. Regu*. 37 (1), 17-22.
28.Zhang, S. & Klessig, D. F. (1997). Salicylic acid activates a 48-kD MAP kinase in tobacco. *Plant Cell*. 9 (5), 809-824.
29.Stiles, A., Surette, M. A., Caldwell, C., Nowak, J., Sturz, A. V., Blake, T. J. & Lada, R. (2002). August. Stand Establishment Technologies for Processing Carrots. In XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Transplant Production and Stand Establishment Research. 631, 105-116.
30.Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Grow. Regu*. 30 (2), 157-161.
31.Wang, H. M., Xiao, X. R., Yang, M. Y., Gao, Z. L., Zang, J., Fu, X. M. & Chen, Y. H. (2014). Effects of salt stress on antioxidant defense system in the root of *Kandelia candel*. *Bot. Stu.* 55 (1), 1-7.
32.Kafi, M., Eishi Rezaii, A., Hagighikhah, M. & Gorbanim, S. (2010). Effect of salinity and seed priming on germination and seedling characteristics of two medicinal citrus species. *J. Agr. Eco*. 2, 245-255.
33.Liamas, A., Ullrich, C. I. & Sanz, A. (2000). Cadmium effects on transmembrane electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. *Plant and soil*. 219 (1-2), 21-28.
34.Hussain, A. F., Khan, Z. I., Ashraf, M. D., Rashid, M. H. & Akhtar, M. S. (2004). Effect of salt stress on some growth attributes of sugarcane cultivars CP-77-400 and COJ-84. *J. Agri. Bio*. 6 (1), 188-191. [In Persian]
35.Khorsandi, O., Hassani, A., Sefidkon, F., Shirzad, H. & Khorsandi, A. R. (2010). Effect of salinity (NaCl) on growth, yield, essential oil content and composition of Agastache *foeniculum kuntz*. *J. Med. & Aro. Plants Res*. 26 (3), 438-451. [In Persian]
36.Ghasemi, M., Ghasemi, S., Hosseini Nasab, F. A. & Rezaei, N. (2020). Effect of salicylic acid application on some growth traits of Lemon verbena (*Lippia citriodora*) under salinity stress. *J. Plant Prod. Res.* 26 (4), 163-176. [In Persian]
37.Ahmadi, F., Dehestani-Ardakani, M., Momenpour, A. & Golamnezhad, J. (2020). Evaluation of some physiological and morphological characteristics of three genotypes of the ornamental pomegranate (*Punica granatum* L.) under salt stress. *J. Plant Prod. Res.* 27 (2), 67-186. [In Persian]
38.Khorasani Nejad, S., Soltanlu, H., Hadian, J. & Atashi, S. (2016). Effect of salinity stress on some apparent, quantitative and qualitative properties of essential oil in lavender. *J. Hort. Sci*. 30 (2), 209-216. [In Persian]
39.Khaleghi, E. & Moallemi, N. (2009). Effect of different levels of salinity and temperature on seed germination of Cocks Comb (*Celosia argentea*). *J. Plant Prod.* 16 (1), 49-163. [In Persian]
40.Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Scie*. 164 (3), 317-322.
41.Hanan, E. D. (2007). Influence of salicylic acid on stress tolerance during seed germination of *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*. *Bio. Res.* 1, 40-48.
42.Rock, C. D. (2000). Tansley Review No. 120: Pathways to abscisic acid-regulated gene expression. *New Phyt.* 148 (3), 357-396.
43.Parmoon, G., Ebadi, A., Ghaviazm, A. & Miri, M. (2013). Effect of seed priming on germination and seedling growth of Chamomile under salinity. *Crop Prod*. 6 (3), 145-164.

44.Zhao, P., Wu, F., Feng, F. S. & Wang, W. J. (2008). Protocorm-like body (PLB) formation and plant regeneration from the callus culture of *Dendrobium candidum* Wall ex Lindl. In Vitro Cell. *Dev. Bio. Plant*. 44 (3), 178-185.
45.Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E. G. & Cicek, N. (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 Phys*. 164 (6), 728-736.
46.Bor, M., Ozdemir, F. & Turkan, I. (2003). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Sci*. 164 (1), 77-84.
47.Bandeoglu, E., Eyidogan, F., Yucel, M. & AvniO, H. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regu*. 42 (1), 69-77.
48.Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Agarwal, S. & Meena, R. C. (2005). Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biol. Planta*. 49 (1), 85-91.
49.Yazici, I., Turkan, I., Sekmen, A. H. & Demiral, T. (2007). Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Env. Exp. Bot.* 61 (1), 49-57.
50.Panda, S. K. & Upadhyay, R. K. (2004). Salt stress injury induces oxidative alterations and antioxidative defence in the roots of *Lemna minor*. *Bio. Planta.* 48 (2), 249-253.
51.Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Khan, M. M. A. & Naeem, M. (2007). Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. *World J. Agric. Sci.* 3 (5), 685-95.
52.Akhkha, A., Boutra, T. & Alhejely, A. (2011). The rates of photosynthesis, chlorophyl1 content, dark respiration, prolin and abscicic acid (ABA) in wheat (*Triticum durum*) under water deficit conditions. *J. Agric. Bio.* 13 (2), 15-221.
53.Sahar, K., Amin, B. & Taher, N. M. (2011). The salicylic acid effect on the *Salvia officianlis* L. sugar, protein and proline contents under salinity (NaCl) stress. *J. Stress Phys. Bioch.* 7 (4), 80-87. [In Persian]
54.Heidari, A., Toorchi, M., Bandehagh, A. & Shakiba, M. R. (2011). Effect of NaCl stress on growth, water relations, organic and inorganic osmolytes accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines. *J. Env. Res. & Tech*. 1, 351-362.
55.Khosravi, S., Baghizadeh, A. & Nezami, M. T. (2011). The salicylic acid effect on the *Salvia officinalis* L. under salinity (NACL) stress. *J. Stress Phys. Bioch*. 7 (4), 80-87.
56.Taşgin, E., Atici, O. & Nalbantoglu, B. (2003). Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Grow. Regu.* 41 (3), 231-236.
57.Umebese, C. E., Olatimilehin, T. O. & Ogunsusi, T. A. (2009). Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. *J. Agri. & Bio. Scie.* 4, 224-229.
58.Manaa, A., Gharbi, E., Mimouni, H., Wasti, S., Aschi-Smiti, S., Lutts, S. & Ahmed, H. B. (2014). Simultaneous application of salicylic acid and calcium improves salt tolerance in two contrasting tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivars. *J. Botany*. 95, 32-39.
59.Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecot. & Env. Safe.* 60 (3), 324-349.
60.Straus, M. R., Rietz, S., Ver Loren van Themaat, E., Bartsch, M. & Parker, J. E. (2010). Salicylic acid antagonism of EDS1-driven cell death is important for immune and oxidative stress responses in Arabidopsis. *J. The Plant.* 62 (46), 28-640.
61.Shallan, M. A., Hassan, H. M., Namich, A. A. & Ibrahim, A. A. (2012). Effect of

sodium nitroprusside, putrescine and glycine betaine on alleviation of drought stress in cotton plant. *Am Eurasia J. Agri. Env. Sci.* 12 (9), 1252-1265.

62. Kamali, M., Kharazi, S. M., Armament, Y. & Tehranifar, A. (2013). Effect of salicylic acid on growth and some morphological traits of *Gomphrena globosa* L. under salinity stress. *J. Hort. Sci*. 26 (1), 112-104.
63. Abedzadeh, M. & Pour Akbar, L. (2013). Investigation of the interaction of UV-B, UV-C and salicylic acid rays on some physiological and biochemical parameters of Lemongrass (*Melissa officinalis* L). *Plant process. Func*. 2, 1-15.
64. Ghoraba, F. S. & Farahbakhsh, H. (2014). Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). *J. Crops Impr*. 16 (3), 765-778.
65. Misra, N. & Saxena, P. (2009). Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Scie.* 177 (3), 181-189.
66. Koyro, H. W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Env. Exp. Bot.* 56 (2), 136-146.
67. Zengin, F. (2014). Exogenous treatment with salicylic acid alleviating copper toxicity in bean seedlings. *Proc. Biol. Sci*. 84 (3), 749-755.
68. Fallah, A. (2010). Investigation of some physiological mech-anisms associated with salt stress tolerance in Iranian rice cultivars. Deputy of Rice Research Institute of Iran (Amol). [In Persian]
69. Shi, Q. & Zhu, Z. (2008). Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. *Env. Exp. Bot.* 63 (1-3), 317-326.