Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Evaluation of the Effect of Polyamines on Antioxidant Activities, Oil, and Protein Contents and Some Physiological and Biochemical Traits of Camelina (*Camelina sativa*) Under Salinity Stress

Esmaeil Gholinezhad[1]✉ | Bakhtiar Lalehgani[2] | Shahryar Kazemi[3]

1. Corresponding Author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: e_gholinejad@pnu.ac.ir
2. Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: lalehgani@pnu.ac.ir
3. Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: sh.kazemi@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 12 March 2023
Received in revised form
4 September 2023
Accepted 12 September 2023
Published online 13 December 2023

Keywords:
Ion leakage
Putrescine
Soluble sugars
Spermidine
Spermine

ABSTRACT

Objective: This research was conducted in order to investigate the effect of spermine, spermidine and putrescine on antioxidant activity, oil, protein and some physiological and biochemical traits of Camelina under salinity stress conditions.

Methods: A pot (as poen air) experiment was conducted at Payame Noor University, Iran in March 2022 as factorial layout based on a completely randomized design with 12 treatments and 3 repetitions. The salinity treatment was at three salinity levels (0, 15 and 30 dS/m) and 4 foliar spraying levels including spermine (2 mM), spermidine (2 mM), putrescine (2 mM) and control (pure water foliar spraying).

Results: The results showed that with the increasing salinity stress, oil and protein contents and dry seed weight, chlorophyll index, shoot organic and mineral percentage decreased, but protein percentage, shoot ash percentage, soluble sugars, antioxidant activity and ion leakage percentage increased significantly. Salinity stress of 30 and 15 ds/m compared to the control, reduced the chlorophyll index (32 and 15 percent) and mineral percentage (19 and 3 percent), oil percentage (17 and 9 percent), dry oil weight in pot (62 and 21 percent) and dry seed weight (52 and 10 percent), but protein percentage, ash percentage, soluble sugars and antioxidant activity increased, respectively. Also, foliar spraying with polyamines increased the above traits, but decreased the percentage of ion leakage.

Conclusion: Therefore, according to the results, in order to decreasing the effects of salinity stress and increasing the dry seed and oil weights in pot, spraying with polyamines, especially spermine, is suggested.

Cite this article: Gholinezhad, E., Lalehgani, B., & Kazemi, Sh. (2023). Evaluation of the Effect of Polyamines on Antioxidant Activities, Oil, and Protein Contents and Some Physiological and Biochemical Traits of Camelina (*Camelina sativa*) Under Salinity Stress. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 1063-1081.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.356685.2797

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.356685.2797

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

ارزیابی پلی‌آمین‌ها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن، پروتئین و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa*) تحت تنش شوری

اسماعیل قلی‌نژاد[1]✉ | بختیار للـه گانی[2] | شهریار کاظمی[3]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: e_gholinejad@pnu.ac.ir

۲. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: lalehgani@pnu.ac.ir

۳. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: sh.kazemi@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:

اسپرمین

اسپرمیدین

پوترسین

قندهای محلول

نشت یونی

چکیده

هدف: این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن، پروتئین و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا تحت شرایط تنش شوری اجرا شد.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت گلدانی (هوای آزاد) در دانشگاه پیام نور در اسفندماه سال ۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا گردید. تیمار شوری در سه سطح (صفر، ۱۵، ۳۰ دسی زیمنس بر متر) و تیمار محلول‌پاشی در چهار سطح اسپرمین (۲ میلی‌مولار)، اسپرمیدین (۲ میلی‌مولار)، پوترسین (۲ میلی‌مولار) و شاهد (محلول‌پاشی آب خالص) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش تنش شوری درصد و وزن خشک روغن، وزن خشک پروتئین، وزن خشک دانه، شاخص کلروفیل، درصد مواد آلی و معدنی شاخساره کاهش اما درصد پروتئین، درصد خاکستر شاخساره، قندهای محلول، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و درصد نشت یونی افزایش معنی‌داری یافت. تنش شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به‌ترتیب شاخص کلروفیل (۳۲ و ۱۵ درصد) و درصد مواد معدنی شاخساره (۱۹ و ۳ درصد)، درصد روغن (۱۷ و ۹ درصد)، وزن خشک روغن (۶۲ و ۲۱ درصد) و وزن خشک دانه (۵۲ و ۱۰ درصد) را کاهش ولی درصد پروتئین، درصد خاکستر شاخساره، قندهای محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. هم‌چنین محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها سبب افزایش صفات مذکور شد اما درصد نشت یونی را کاهش داد.

نتیجه‌گیری: بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، جهت تعدیل اثرات تنش شوری و افزایش وزن خشک دانه و روغن کاملینا، محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها پیشنهاد می‌شود.

استناد: قلی‌نژاد، اسماعیل؛ للـه گانی، بختیار و کاظمی، شهریار (۱۴۰۲). ارزیابی پلی‌آمین‌ها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن، پروتئین و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa*) تحت تنش شوری. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۱۰۸۱-۱۰۶۳.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.356685.2797

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

تنش شوری از جمله عوامل محدودکننده رشد و عملکرد محصولات می‌باشد و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است. بنابراین شناخت فن‌های زراعی برای افزایش رشد و عملکرد محصولات زراعی اهمیت زیادی دارد (Zörb *et al.*, 2019). شوری می‌تواند منجر به تنش آبی، تجمع یون‌ها، سوء تغذیه گیاه، اختلال متابولیک ثانویه و تجمع گونه‌های اکسیژن فعال[1] در گیاهان شود و در نتیجه رشد و عملکرد را کاهش دهد (Hai *et al.*, 2022). بنابراین، توسعه روش هایی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری و افزایش تولید محصول تحت تنش شوری دارای اهمیت است. استفاده از مواد خارجی مانند برگ‌پاشی با پلی‌آمین‌ها یکی از ساده‌ترین و مؤثرترین رویکردهاست (Kiełkowska & Adamus, 2021). آنچه مسلم است شوری باعث کاهش عملکرد محصول در سراسر جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. تنش شوری می‌تواند منجر به تغییرات مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بی‌شماری در گیاهان شود که شدت و مدت آن تعیین‌کننده میزان آسیب گیاه است. شوری معمولاً منجر به اثرات مخرب بزرگی بر رشد و نمو گیاهان می‌شود و باعث عدم تعادل یونی و تنش اسمزی می‌شود و تنش اکسیداتیو را از طریق تغییرات در مسیرهای مولکولی و بیوشیمیایی ایجاد می‌کند (Bakyani *et al.*, 2022; Hosseinifard *et al.*, 2022). گیاهان در مقابل تنش شوری سازوکارهای مختلفی را به‌کار می‌گیرند. برخی گونه‌ها با کاهش میزان جذب سدیم و یا ممانعت از انتقال آن به شاخساره، خود را در مقابل سمیت کلریدسدیم محافظت کرده و گروهی دیگر سازوکار تنظیم اسمزی را به‌کار برده که از جذب یون‌ها و تجمع آن در واکوئل، سنتز ترکیبات اسموتیکی و یا هر دو روش استفاده می‌کنند (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷). مهم‌ترین پلی‌آمین‌ها شامل اسپرمیدین (تری آمین)، اسپرمین (تتراآمین) و پیش‌ساز آن‌ها پوترسین (دی‌آمین) است که به‌صورت خارجی یا برون‌زا می‌توان برای افزایش تحمل به انواع عوامل تنش‌های غیرزیستی مورد بهره‌برداری قرار داد (Desoky *et al.*, 2023).

کاملینا یک محصول یک ساله از گروه دانه‌های روغنی پایدار در خانواده Brassicaceae است (Ghidoli *et al.*, 2023). با این‌حال، به‌دلیل ویژگی‌های زراعی و سازگاری با شرایط محیطی متنوع، نیاز کم به آب و مواد مغذی و مقاومت نسبتاً قوی در برابر آفات حشرات و بیماری‌های میکروبی، موردتوجه می‌باشد (Lopez *et al.*, 2023).

۲. پیشینه پژوهش

گزارش شده است که تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار درصد خاکستر در گیاه ارزن مروارید شد (Qaoud *et al.*, 2023). نتیجه افزایش این املاح در سیتوپلاسم، تنظیم اسمزی می‌باشد که به‌منظور موازنه تعدیل اسمزی واکوئولی در سیتوپلاسم و تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و اجزای مختلف سلول انجام می‌شود (مکی‌زاده تفتی و همکاران، ۱۳۸۷). ارزیابی تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در شرایط تنش شوری راه‌کاری مناسب جهت مطالعه جنبه‌های وراثتی تحمل به تنش فراهم می‌آورد (Etesami *et al.*, 2021). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیدانی از سامانه دفاعی مؤثری که شامل افزایش فعالیت آنزیم‌ها، فعالیت مهار رادیکال DPPH و تعداد دیگری از مواد آنتی‌اکسیدانی است، استفاده می‌کنند (Ahmad *et al.*, 2023). گیاهان در مقابله با تنش شوری واکنش‌های مختلفی نشان می‌دهند که از جمله پاسخ‌ها می‌توان به تجمع مواد محلول سازگار مانند قندهای محلول اشاره کرد که افزایش قندهای محلول با افزایش تنش شوری در گیاه کاملینا (Fani & Hajihashemi, 2022) گزارش شده است. هم‌چنین با افزایش تنش شوری درصد نشت الکترولیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه کنجد افزایش یافته است (Shahbazi *et al.*, 2021). هم‌چنین در پژوهشی بیان شده است که با افزایش تنش شوری درصد پروتئین کلزا افزایش یافت (Shu *et al.*, 2022).

1. Reactive oxygen speices

نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی، از جمله شوری و خشکی موردتوجه قرار گرفته است (Tyagi *et al*., 2022). گزارش‌های مختلفی در مورد نقش پلی‌آمین‌ها در کاهش اثرات تنش شوری وجود دارد، گزارش شده است که تیمار پوترسین که یک پلی‌آمین است موجب افزایش مقاومت گیاهان به شوری می‌شود (González-Hernández *et al*., 2022). پژوهش‌گران اعتقاد دارند پلی‌آمین‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند و از آسیب اکسیداتیو بافت گیاهی و در نتیجه آسیب گونه‌های فعال اکسیژن و پرواکسیداسیون لیپیدی جلوگیری می‌کنند (ElSayed *et al*., 2022). در پژوهشی گزارش شده است که ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین، به‌دلیل فراهم‌کردن شرایط تغذیه‌ای مناسب‌تر برای بوته‌های سویا در طول دوره گلدهی تا پرشدن دانه موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن گردیده است (شیخ‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

کاملینا یک محصول دانه روغنی متحمل به شرایط مختلف آب‌وهوایی است که با سایر محصولات دانه روغنی متفاوت است. در میان دانه‌های روغنی حاوی مشخصات اسید چرب مناسب، کاملینا به‌عنوان یکی از نامزدهای اصلی برای استفاده در اقتصاد زیستی دنیا شناسایی می‌شود (Shiranirad *et al*., 2023). دانه‌های کاملینا حاوی مقدار زیادی روغن (۲۷ تا ۴۹ درصد) و پروتئین (۲۴ تا ۳۱ درصد) و هم‌چنین فیبر غذایی، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است (Neupane *et al*., 2022). مصرف روغن کاملینا مزایای سلامتی مانند کاهش سطح کلسترول سرم خون و بهبود مشخصات لیپیدی سرم را به‌همراه دارد که به‌تازگی بررسی شده است (Neupane *et al*., 2022). کاملینا به عناصر نیتروژن، فسفر و گوگرد نیاز دارد. اما این گیاه کم‌توقع می‌باشد و بسته به حاصل‌خیزی زمین ممکن است هیچ‌گونه کودی نیاز نداشته باشد. قبل از کاشت برای تعیین نیازهای کودی باید آزمون خاک انجام شود (Rostami Ahmadvandi *et al*., 2021). نیاز این گیاه به عنصر نیتروژن، حدود ۷۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، و به عناصر فسفر و پتاسیم به‌ترتیب ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (Schillinger *et al*., 2012) به‌طور کلی نیازهای کودی این گیاه پایین و کشت آن در زمین‌های پست و حاشیه‌ای امکان‌پذیر است (Dobre & Jurcone, 2011). در حال حاضر اطلاعات کمی در مورد اثرات تنش شوری همراه با کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها در گیاه کاملینا وجود دارد.

هدف از مطالعه حاضر ارزیابی تأثیر اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن، پروتئین و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا تحت سطوح مختلف شوری بود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

آزمایش در اسفندماه سال ۱۴۰۰ در دانشگاه پیام نور ارومیه به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی به‌صورت کشت گلدانی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا گردید. تیمار تنش شوری با آب دریاچه ارومیه در سه سطح صفر، ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. تیمار محلول‌پاشی در چهار سطح ۱- محلول‌پاشی با اسپرمین (۲ میلی‌مولار)، ۲- محلول‌پاشی با اسپرمیدین (۲ میلی‌مولار)، ۳- محلول‌پاشی با پوترسین (۲ میلی‌مولار) و شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص) بود. زمان اعمال محلول‌پاشی بعد از استقرار سه گیاهچه در گلدان و رسیدن به مرحله چهار برگی هر سه روز یک‌بار (در مجموع در شش مرحله) انجام گرفت. پلی‌آمین‌های مذکور از شرکت سیگما تهیه شد. به‌منظور جلوگیری از هدررفت و پاشش محلول موردنظر به گلدان‌های مجاور، محلول‌پاشی در غروب و در هوای کاملاً صاف و بدون وزش باد توسط اسپری‌های با پمپ دستی (با حجم پاشش ۱/۲۵ سی‌سی در هر ثانیه) به شکلی که محلول کاملاً از برگ‌ها ریزش کند، انجام گرفت.

در ابتدا برای آماده‌سازی خاک گلدان‌ها به‌ترتیب با نسبت‌های ۳، ۱، ۱ خاک و کود دامی و ماسه بادی را مخلوط کرده و به گلدان‌هایی که برای زهکشی مناسب از قبل ته آن‌ها سوراخ شده بود اضافه شدند و در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور (هوای

آزاد) قرار گرفتند. به‌دلیل یکسان‌بودن شرایط آزمایش برای پرکردن خاک در گلدان‌ها هرکدام را وزن کرده و به مقدار مساوی با خاک پر شدند. وزن هر گلدان برابر با ۱۳ کیلوگرم و دارای قطر ۳۰ و ارتفاع ۲۶ سانتی‌متری بودند. در این آزمایش ظرفیت زراعی خاک ۲۴ درصد وزنی و نقطه پژمردگی همیشگی ۱۰ درصد وزنی تعیین شد. هم‌چنین براساس تجزیه خاک و توصیه کودی گوگردپاشی (ساری کود باسیلوس‌دار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات‌روی (۲۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات آهن (۱۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به گلدان‌ها اضافه شد. شروع کشت بذر کاملینا رقم سهیل در تاریخ ۲۳ اسفندماه سال ۱۴۰۰ به‌صورت دستی صورت گرفت و شش بذر در عمق ۱ سانتی‌متری در خاک هر گلدان قرار گرفت. رقم سهیل دارای تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۸۸ سانتی‌متر، رنگ دانه نارنجی، میانگین وزن هزار دانه حدود ۱ گرم، متحمل به ریزش، میانگین تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ۱۷۰ روز، میانگین عملکرد در هکتار حدود ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، میانگین میزان روغن ۳۰ درصد و میانگین میزان امگا-۳، ۳۶ درصد می‌باشد (Rostami Ahmadvandi *et al.*, 2019). برای تعیین زمان و حجم آبیاری از رابطه (۱) استفاده شد (علیزاده، ۱۳۸۹):

$$V = \frac{(FC-\theta m)\times \rho b \times Droot \times A}{E}$$

رابطه ۱)

در فرمول بالا، V حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، FC درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θm درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρb وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی مترمکعب)، A مساحت آبیاری‌شده برحسب مترمربع، D_{Root} عمق توسعه ریشه برحسب متر و Ei کارایی آبیاری است که در این پژوهش ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است.

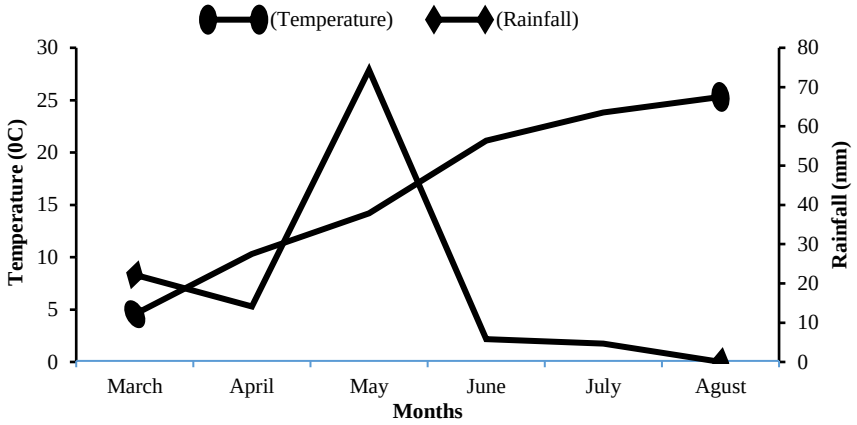
بنابراین در هر نوبت حدوداً ۲ لیتر آب به هر گلدان داده شد و دور آبیاری براساس میزان تبخیر و تعرق تنظیم شد که پنج روز بود. تیمار شوری به‌صورت پلکانی اعمال شد، برای این منظور در ابتدا و برای سازگارشدن، گیاهان با شوری کم‌تر آبیاری شدند و سپس شوری‌های ذکرشده براساس تیمارها اعمال شدند. البته هر ۱۰ روز یک‌بار محیط ریشه گیاهان با آب معمولی به‌طور کامل شست‌وشو داده می‌شد تا تغییرات pH و EC ناشی از تجمع نمک‌ها در بستر کاشت به حداقل برسد. هم‌چنین در پایان آزمایش میزان شوری تجمعی در خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شد که EC آب خروجی یا زهکش گلدان‌ها تقریباً با تیمارهای سطوح شوری آزمایش مشابه بود. عملیات برداشت برای آبیاری مطلوب، تنش شوری ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۲۶، ۲۲ و ۱۷ خردادماه سال ۱۴۰۱ انجام گرفت. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) آمده است. هم‌چنین مشخصات دما و بارندگی (منحنی آمبروترمیک) منطقه موردآزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک

پتاسیم (پی‌پی‌ام)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	نیتروژن کل (درصد)	بافت	کربن الی (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	درصد مواد خنثی‌شونده (درصد)	درصد اشباع (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH
۸۰۷	۲۸/۳	۰/۱	لوم-لوم رسی	۰/۹۸	۲۳	۱۵	۶۲	۱۶	۲۹	۳/۶۲	۷/۲۸

جدول ۲. آنالیز برخی خصوصیات شیمیایی آب دریاچه ارومیه در فروردین ماه ۱۴۰۱

سیلیس (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	بر (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	بی‌کربنات (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	سولفات (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	کلر (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	پتاسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	کلسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	منیزیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	چگالی (گرم بر میلی‌لیتر)	pH
۱/۸۷	۲/۲۱	۴/۹۷	۲۰۴/۲	۳۳۳۹/۱	۳۰/۳۴	۳۳/۷	۴۲۹/۵	۳۱۱۶/۲	۱۷۱/۱۲	۱/۱۳	۷/۷۷



شکل ۱. شرایط آب‌وهوایی منطقه در طول مراحل رشد گیاه

برای محاسبه وزن خشک دانه، بذرهای موجود در کپسول‌های سه بوته هر گلدان جدا و وزن گردید. برای محاسبه وزن خشک کل، تمامی اجزای کاملینا در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک سپس توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شدند.

درصد روغن دانه، با دستگاه سوکسله مدل FALC (AOA, 1990; Rabrenović & Vujasinović, 2022) اندازه‌گیری شد. درصد پروتئین دانه با دستگاه کجلدال (شرکت FOSS کشور سوئد) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن خشک روغن و وزن خشک پروتئین به‌ترتیب درصد روغن و درصد پروتئین در وزن خشک دانه ضرب شد.

برای اندازه‌گیری درصد خاکستر شاخساره، دو گرم از بوته‌های خشک‌شده گیاه با استفاده از آسیاب برقی پودرشده و درون کروزه‌های چینی ریخته و به‌مدت شش ساعت در کوره در درجه حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس نمونه‌ها وزن شده و درصد خاکستر تعیین گردید (Seyed Sharifi & Gholinezhad, 2022). شاخص کلروفیل گیاه در مرحله گل‌دهی کامل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (مدل MINOLTA-502 کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد.

برای سنجش نشت یونی سلول، ابتدا نمونه‌های برگ تازه برداشت‌شده سه بار با آب مقطر شسته تا الکترولیت چسبیده به سطح برگ از بین برود. مقدار ۰/۱ گرم از برگ برداشته شد و در داخل آب مقطر به‌مدت یک ساعت قرار داده شد. هدایت الکتریکی آن با هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد (L1). سپس محلول به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و هدایت الکتریکی آن دوباره تعیین شد (L2). نشت یونی برگ از رابطه (۲) محاسبه شد (Bai *et al.*, 1996):

$$EL = \frac{L1}{L2} \times 100$$ رابطه ۲)

برای اندازه‌گیری قندهای محلول، در ابتدا نمونه‌های گیاهی در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن شدند. سپس، ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به نمونه‌ها افزوده و به‌مدت یک هفته در یخچال نگهداری شدند. پس از گذشت زمان فوق، یک میلی‌لیتر از محلول با یک میلی‌لیترآب مخلوط و به آن یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر سولفوریک‌اسید غلیظ افزوده شد. پس از خنک‌شدن لوله‌های آزمایش، جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر در مقابل شاهد توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای یافتن غلظت قندهای محلول توسط منحنی استاندارد، از گلوکز با غلظت‌های مختلف استفاده شد. پس از ترسیم منحنی استاندارد مقدار قند به‌صورت درصد محاسبه گردید (Seyed Sharifi & Gholinezhad, 2022).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل، از روش DPPH[1] استفاده شد. این روش براساس توانایی عصاره گیاه در دادن الکترون یا هیدروژن به رادیکال آزاد DPPH و مهار آن استوار است (Brand-Williams *et al.*, 1995). DPPH یک رادیکال آزاد پایدار می‌باشد که می‌تواند یک الکترون یا هیدروژن را قبول کند و به یک مولکول خنثی و پایدار تبدیل شود. این ماده به‌دلیل دارابودن الکترون منفرد دارای جذب قوی در طول موج ۵۱۷ نانومتر می‌باشد که در این مرحله محلول متانولی آن به‌رنگ بنفش پررنگ است. ابتدا برای اندازه‌گیری این خصوصیت ۰/۲ گرم از نمونه برگی وزن و در هاون به‌کمک ازت مایع پودر شد و با ۲ میلی‌لیتر متانول اسیدی عصاره‌گیری شد. پس از سانتریفیوژکردن در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۴ درجه سانتی‌گراد، روشناور جدا شد. سپس میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین گردید. از متانول خالص به‌عنوان بلانک استفاده شد و سپس با سمپلر ۱۹۵۰میکرولیتر از محلول DPPH ۰/۰۸ میلی‌مولار داخل کووت ریخته و میزان جذب قرائت شد. بلافاصله ۵۰ میکرولیتر از عصاره نمونه‌ها به آن افزوده شد. این نمونه به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق قرار گرفت و سپس دوباره قرائت شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در عصاره‌های رقیق‌شده با کمک رابطه زیر، تعیین و به‌صورت درصد طبق رابطه (۳) بیان شد (Brand-Williams *et al.*, 1995).

رابطه ۳) $\text{فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل} = \frac{C-T}{c} \times 100$

در رابطه بالا C و T به‌ترتیب جذب شاهد و جذب نمونه می‌باشد.

درصد ماده آلی و معدنی از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد (Rahimi & Kafi, 2010):

رابطه ۴) $\text{درصد ماده آلی} = \frac{b-a}{b} \times 100$

رابطه ۵) $\text{درصد ماده معدنی} = \frac{b-o}{b} \times 100$

در روابط بالا b، a و o به‌ترتیب وزن زیست توده، وزن خاکستر و وزن مواد آلی است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی[2] در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد. برای داده‌هایی که از طریق شمارش به‌دست آمده بودند با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) تبدیل جذری به‌عمل آمد و سپس مقایسه میانگین انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. نشت یونی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها و هم‌چنین برهم‌کنش تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری، نشت یونی افزایش معنی‌داری پیدا کرد به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد نشت یونی به‌ترتیب از شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش شوری حاصل شد (شکل ۲). محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها باعث کاهش درصد نشت یونی شد (شکل ۲). در شرایط تنش شوری، تنش شوری ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، بین محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

1. 2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl
2. Tukey's Test

جدول ۳. تجزیه واریانس اثرات تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن، پروتئین و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا

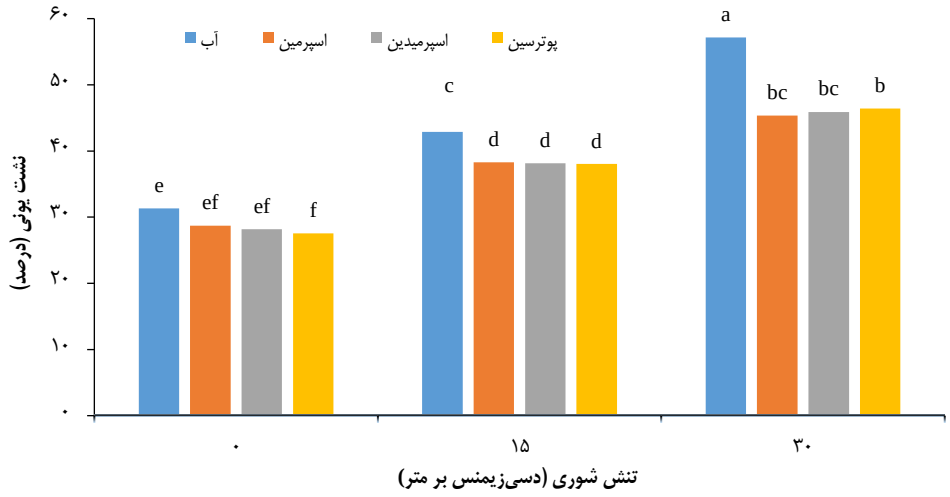
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نشت یونی	شاخص کلروفیل	قندهای محلول	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	درصد مواد آلی	درصد مواد معدنی
تنش شوری	۲	۱۱۷۰/۳۴**	۴۷۶/۳۸**	۲۹۶/۳۴**	۸۲۷/۶۶**	۳۲۷/۹۸**	۶۱۸/۷۲**
محلول‌پاشی	۳	۹۱/۷۶**	۶۴/۹۰**	۱۲/۵۲**	۸۴/۴۴**	۱۶/۳۳**	۱۸۳/۳۴**
شوری × محلول‌پاشی	۶	۱۴/۴۳**	۱/۴۵ ns	۰/۱۷۳ ns	۶/۶۴ ns	۶/۰۱۱**	۱۹/۲۱ ns
خطای آزمایشی	۲۴	۱/۲۶	۱/۶۴	۰/۵۳۷	۳/۸۴	۱/۰۸	۹/۴۰
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۸۸	۳/۹۰	۲/۸۳	۲/۸۰	۲/۱۸	۴/۸۲

ns، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۳. تجزیه واریانس اثرات تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن، پروتئین و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد خاکستر برگ	درصد روغن	وزن خشک روغن	درصد پروتئین	وزن خشک پروتئین	وزن خشک دانه
تنش شوری	۲	۴۱۷/۸۳**	۱۷۲/۹**	۰/۰۹۶**	۱۲/۱۳**	۰/۰۱۵**	۰/۴۰۸**
محلول‌پاشی	۳	۴/۴۵ **	۱۵/۴۱**	۰/۰۱۴**	۳/۶۶**	۰/۰۰۴۵**	۰/۰۸۱**
شوری × محلول‌پاشی	۶	۱/۷۳ ns	۱/۲۸ ns	۰/۰۰۱۰ ns	۰/۰۹۰ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۶ ns
خطای آزمایشی	۲۴	۰/۷۴۱	۰/۷۲	۰/۰۰۱۰	۰/۱۸۰	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۶۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۰۰۲	۲/۱۵	۱۴/۶۴	۱/۹۵	۱۴/۹۲	۱۵/۲۳

ns، ** و *: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.



شکل ۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش شوری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها برای نشت یونی در گیاه کاملینا
(میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد براساس آزمون توکی ندارند).

۴. ۲. شاخص کلروفیل

سطوح مختلف تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها اثرات معنی‌داری بر شاخص کلروفیل داشتند (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری، شاخص کلروفیل کاهش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که تنش شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس‌برمتر مقدار شاخص کلروفیل را به‌ترتیب به‌میزان ۳۲ و ۱۵ درصد کاهش داد (جدول ۴). در این پژوهش محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها

باعث افزایش شاخص کلروفیل شد (جدول ۴). به طور متوسط محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها در مقایسه با شاهد سبب افزایش شاخص کلروفیل به‌میزان ۱۶ درصد شد (جدول ۴).

جدول ٤. مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر صفات مورد مطالعه در کاملینا

تیمار	شاخص کلروفیل (درصد)	قندهای محلول (درصد)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	درصد مواد معدنی	درصد خاکستر شاخساره (درصد)
تنش شوری					
صفر	۳۹/۰۱ a	۲۰/۸۶ c	۶۱/۱۷ c	۶۸/۷۱ a	۲۱/۹۲ c
۱۵	۳۳/۰۱ b	۲۵/۹۸ b	۷۰/۵۱ b	۶۶/۴۹ a	۳۱/۳۱ b
۳۰	۲۶/۴۲ c	۳۰/۸۰ a	۷۷/۷۳ a	۵۵/۳۱ b	۳۲/۸۰ a
محلول‌پاشی					
آب	۲۸/۸۰ b	۲۴/۱۳ b	۶۵/۹۲ c	۵۷/۰۷ b	۲۷/۶۳ b
اسپرمین	۳۴/۱۳ a	۲۶/۳۰ a	۶۹/۵۰ b	۶۵/۴۲ a	۲۹/۱۴ a
اسپرمیدین	۳۴/۴۰ a	۲۶/۳۷ a	۷۰/۴۵ b	۶۴/۰۵ a	۲۸/۹۵ a
پوترسین	۳۳/۹۳ a	۲۶/۷۱ a	۷۳/۳۵ a	۶۷/۴۸ a	۲۹/۰۰ a

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشند.

ادامه جدول ٤. مقایسه میانگین اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر صفات مورد مطالعه در کاملینا

تیمار	درصد روغن (درصد)	وزن خشک روغن (گرم بر گلدان)	درصد پروتئین (درصد)	وزن خشک پروتئین (گرم بر گلدان)	وزن خشک دانه (گرم بر گلدان)
تنش شوری					
صفر	۴۳/۳۴ a	۰/۲۹ a	۲۰/۸۷ c	۰/۱۴ a	۰/۶۷ a
۱۵	۳۹/۳۸b	۰/۲۳b	۲۱/۵۷ b	۰/۱۳ a	۰/۶۰a
۳۰	۳۵/۷۵ c	۰/۱۱ c	۲۲/۸۵ a	۰/۰۷ b	۰/۳۲ b
محلول‌پاشی					
آب	۳۷/۷۱ c	۰/۱۷ c	۲۰/۸۴ b	۰/۰۹ c	۰/۴۴ c
اسپرمین	۳۹/۴۷ b	۰/۲۶ a	۲۱/۸۹ a	۰/۱۴ a	۰/۶۵ a
اسپرمیدین	۳۹/۹۷ ab	۰/۱۹ bc	۲۲/۰۴ a	۰/۱۰ bc	۰/۴۸ bc
پوترسین	۴۰/۸۱ a	۰/۲۳ ab	۲۲/۲۹ a	۰/۱۲ ab	۰/۵۶ ab

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشند.

۴. ۳. قندهای محلول کل

قندهای محلول کل از نظر آماری تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری، قندهای محلول افزایش معنی‌داری یافت به طوری که تنش شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مقدار قندهای محلول کل را به‌ترتیب به‌میزان ۳۲ و ۲۰ درصد افزایش داد (جدول ۴).

در این مطالعه محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها به‌طور متوسط سبب افزایش قندهای محلول کل به‌میزان ۱۰ درصد شد (جدول ۴).

۴. ۴. فعالیت آنتی‌اکسیدان کل

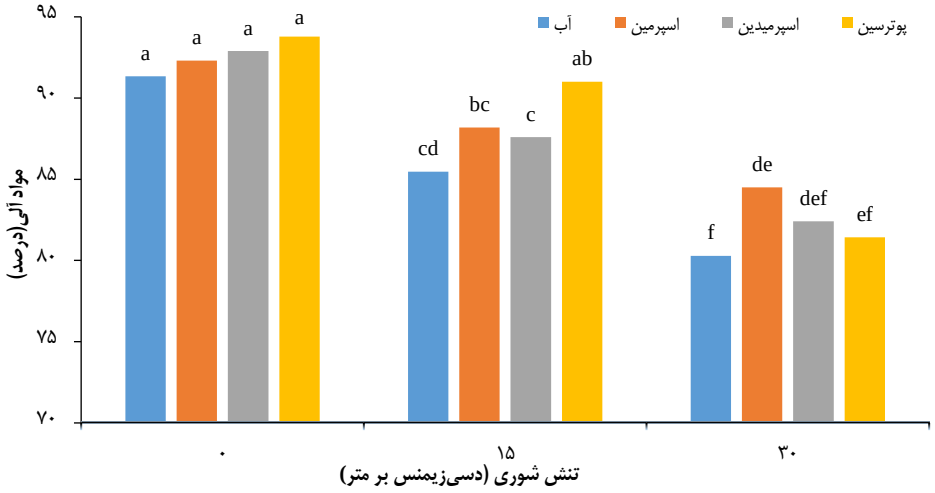
اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر فعالیت آنتی‌اکسیدان کل معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش سطح تنش شوری، فعالیت آنتی‌اکسیدان کل افزایش معنی‌داری یافت به طوری که تنش شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس

بر متر مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدان را به‌ترتیب به‌میزان ۲۱ و ۱۳ درصد افزایش داد (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان کل شد (جدول ۴). محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در مقایسه با شاهد به‌ترتیب سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان کل به‌میزان ۵، ۶ و ۱۰ درصد شد (جدول ۴).

۴. ۵. درصد مواد آلی و معدنی شاخساره

درصد مواد آلی و معدنی شاخساره هم تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها و هم‌چنین اثرات برهم‌کنش تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها (فقط درصد مواد آلی شاخساره) قرار گرفتند (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری، درصد مواد معدنی و آلی شاخساره کاهش معنی‌داری پیدا کردند. تنش شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب درصد مواد معنی شاخساره را ۱۹ و ۳ درصد کاهش داد (جدول ۴).

در بررسی میانگین اثرات برهم‌کنش مشخص شد در هر سه شرایط مختلف آزمایش، محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها سبب افزایش درصد مواد آلی شاخساره کاملینا شد، به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش شوری و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی با پوترسین و شرایط تنش شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی با اسپرمین تأثیر بیش‌تری داشته است (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش شوری و پلی‌آمین‌ها بر درصد مواد آلی در گیاه کاملینا
(میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد براساس آزمون توکی ندارند).

۴. ۶. درصد خاکستر شاخساره

درصد خاکستر شاخساره از نظر آماری تحت تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری، درصد خاکستر افزایش معنی‌داری پیدا کرد. شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار بدون تنش شوری، درصد خاکستر شاخساره را به‌ترتیب ۳۳ و ۳۰ درصد افزایش داد (جدول ۴). محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها باعث افزایش درصد خاکستر شاخساره شد (جدول ۳). محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب (تیمار شاهد) درصد خاکستر شاخساره را به‌ترتیب به‌میزان ۵، ۴ و ۵ درصد افزایش داد (جدول ۴).

۴. ۷. درصد و وزن خشک روغن

اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر درصد و وزن خشک روغن دانه کاملینا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد با افزایش سطح تنش شوری، درصد و وزن خشک روغن دانه کاملینا کاهش معنی‌داری پیدا کرد به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد و وزن خشک روغن دانه کاملینا به‌ترتیب از بدون تنش شوری و شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۴). شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با بدون تنش شوری، به‌ترتیب درصد (۱۷ و ۹ درصد) و وزن خشک (۶۲ و ۲۱ درصد) روغن دانه کاملینا را کاهش داد (جدول ۴).

محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها باعث افزایش درصد و وزن خشک روغن دانه کاملینا شد (جدول ۴). محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب (شاهد) درصد روغن دانه کاملینا را به‌ترتیب به‌میزان ۴، ۶ و ۸ درصد افزایش داد هم‌چنین محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب (شاهد) باعث بهبود وزن خشک روغن دانه کاملینا به‌ترتیب به‌میزان ۳۵، ۱۰ و ۲۶ درصد شد (جدول ۴).

۴. ۸. درصد و وزن خشک پروتئین

نتایج جدول (۲) نشان داد اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها بر درصد و وزن خشک پروتئین دانه کاملینا در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری، درصد پروتئین دانه کاملینا افزایش اما وزن خشک پروتئین کاهش معنی‌داری پیدا کرد؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد پروتئین دانه کاملینا به‌ترتیب از شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش شوری حاصل شد (جدول ۴). شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با بدون تنش شوری، به‌ترتیب باعث افزایش درصد پروتئین (۹ و ۳ درصد) و کاهش وزن خشک پروتئین دانه کاملینا (۴۱ و ۷ درصد) شد (جدول ۴).

محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها باعث افزایش درصد و وزن خشک پروتئین دانه کاملینا شد (جدول ۴). بیش‌ترین درصد پروتئین دانه (۲۲/۲۹ درصد) از محلول‌پاشی با پوترسین و بیش‌ترین وزن خشک پروتئین دانه (۰/۱۴ گرم بر گلدان) از محلول‌پاشی با اسپرمین بدست آمد (جدول ۴). محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب (شاهد) درصد پروتئین دانه کاملینا را به‌ترتیب به‌میزان ۵، ۶ و ۷ درصد افزایش داد هم‌چنین محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در مقایسه با محلول‌پاشی با آب (شاهد) باعث بهبود وزن خشک پروتئین دانه کاملینا به‌ترتیب به‌میزان ۳۶، ۱۰ و ۲۵ درصد شد (جدول ۴).

۴. ۹. وزن خشک دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، تأثیر اثرات ساده تنش شوری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر وزن خشک دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری وزن خشک دانه کاهش معنی‌داری یافت به طوری که تنش شوری ۳۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با بدون تنش شوری، به‌ترتیب سبب کاهش وزن خشک دانه به میزان ۵۲ و ۱۰ درصد شد (جدول ۴). هم‌چنین محلول‌پاشی با اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین، در مقایسه با محلول‌پاشی آب، به‌ترتیب موجب افزایش وزن خشک دانه به میزان ۳۲، ۸ و ۲۱ درصد شد (جدول ۴).

۵. بحث

در این مطالعه تنش شوری سبب کاهش درصد روغن دانه، شاخص کلروفیل و وزن خشک دانه در گلدان شد که برایند

آن‌ها سبب کاهش وزن خشک روغن و پروتئین در گلدان گردید. تنش شوری از طریق محدودیت در جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده گیاه و سمیت عناصر غذایی، باعث کاهش قدرت رشد سلولی شده و کاهش سطح برگ و فتوسنتز (کاهش شاخص کلروفیل) را به‌همراه دارد. این موارد باعث کاهش ماده خشک تولیدی و در نتیجه کاهش رشد اجزای مختلف گیاه می‌گردد (Hezaveh *et al.*, 2019). گزارش شده است که محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام، میزان روغن سویا را در مقایسه با شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Deotale *et al.*, 2016) که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. افزایش درصد روغن با محلول‌پاشی اسپرمین نیز ممکن است به‌دلیل بهبود روابط منبع و مخزن و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن‌های در حال توسعه باشد که این امر در نهایت ممکن است موجب افزایش درصد روغن شده باشد (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۴۰۰). به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی ترکیبات پلی‌آمین جهت تولید بیش‌تر عملکرد روغن و بهبود کیفیت روغن کاملینا در شرایط تنش شوری مناسب باشد.

همسو با یافته‌های ما در این پژوهش سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که در گیاه کوشیا، با افزایش سطح تنش شوری درصد پروتئین خام و درصد خاکستر با اعمال تنش در مرحله کاشت و گیاهچه‌ای افزایش اما عملکرد پروتئین کاهش یافت (نباتی و همکاران، ۱۳۹۳). در آزمایشی گزارش شد که محلول‌پاشی با پوترسین باعث افزایش درصد پروتئین دانه در ارقام گندم شد (عمادی و همکاران، ۱۳۹۲) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

سایر مطالعات نیز نشان داده است که درصد خاکستر در اندام هوایی علف جارو با افزایش شدت تنش شوری روند افزایشی نشان داد که دلیل این امر احتمالاً جذب بیش ازحد نمک در اندام‌های هوایی در شرایط تنش بوده است (نباتی و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعه دیگری بیان شده است که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان خاکستر شاخساره به‌ترتیب در شوری ۲ و ۱۷ دسی‌زیمنس برمتر در گیاه سالیکورنیا حاصل شد (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۰). یکی از راه‌کارهای مقابله با تنش شوری در گیاهان تجمع املاح در واکوئل باهدف تنظیم اسمزی، حفظ آماس و درنتیجه کمک به جذب آب توسط گیاه است (Flowers & Colmer, 2008). برای مثال در گیاه سالیکورنیا[1] سدیم و کلر از عناصر غالبی هستند که گیاه با افزایش شوری محیط، تجمع آن‌ها را در واکوئل خود با همین هدف افزایش می‌دهد (Grattan *et al.*, 2008). ازآنجاکه تجمع املاح در گیاه به‌صورت خاکستر ظاهر می‌شود افزایش شوری محیط رشد گیاه و به‌دنبال آن افزایش تجمع املاح در بافت گیاه به افزایش خاکستر نهایی را باعث می‌شود (Mndi *et al.*, 2023).

وضعیت شاخص پایداری غشا در سطوح مختلف شوری به وضوح تخریب غشاهای سلولی و افزایش نشت الکترولیت‌ها را نشان داد. در شرایط تنش شوری، کاهش محتوای آب برگ و افزایش پتانسیل اسمزی، به‌همراه افزایش غلظت یون سدیم، پراکسیداسیون چربی‌ها و اختلال در کارکرد و ساختار غشاهای سلولی را در پی دارد (Farooq & Azam, 2006). این وضعیت سبب افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول‌ها شده و به‌دنبال آن فعالیت مهار رادیکال DPPH نیز افزوده می‌شود (Hernández *et al*., 2001). پژوهش‌گران گزارش کردند که با افزایش تنش شوری، درصد نشت یونی در گیاه استویا افزایش و با کاربرد خارجی پوترسین کاهش معنی‌داری یافت (گرامی و همکاران، ۱۳۹۸). هم‌چنین افزایش درصد نشت یونی با افزایش تنش شوری در گیاه گل همیشه بهار گزارش شده است (Bayat & Sepehri, 2012).

در مطالعه‌ای گزارش شده است که تنش شوری سبب کاهش شاخص کلروفیل به میزان ۲۷ درصد در گیاه گل همیشه بهار شد، اما کاربرد پوترسین تاحدودی اثرات منفی تنش شوری را در برخی پارامترها مانند شاخص کلروفیل کاهش داد (بنی‌اسدی و همکاران، ۱۳۹۴) که با یافته‌های ما در این تحقیق مطابقت دارد. عموماً مقدار کلروفیل با افزایش شوری کاهش می‌یابد و این کاهش ممکن است به‌دلیل تشکیل آنزیم‌هایی همچون کلروفیلاز که واکنشی به کاهش

1. *Salicornia europaea*

کلروفیل است یا صدمه به دستگاه فتوسنتزی باشد (Doğan, 2011). ازآنجایی‌که پلی‌آمین‌ها خاصیت ضد اتیلنی دارند و مانع تولید آنزیم‌های مداخله‌کننده در ساخت اتیلن می‌شوند و در نتیجه از تولید رادیکال‌های آزاد که سبب تجزیه کلروفیل می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (مرتضوی و همکاران، ۱۴۰۰). هم‌چنین گزارش شده است غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین موجب حفظ شاخص کلروفیل برگ شد و هم‌چنین فعالیت آنزیم کلروفیلاز را کاهش داد (البرز و همکاران، ۱۳۹۴).

در پژوهش‌های گزارش شده است که با افزایش تنش شوری میزان قندهای محلول در گیاه همیشه‌بهار (کلهر و همکاران، ۱۳۹۸) و جعفری مکزیکی (عزیزی و همکاران، ۱۴۰۰) افزایش یافته است که با یافته‌های ما در این پژوهش مطابقت داشت. نقش اصلی قندهای محلول حفاظت اسمزی، تنظیم اسمزی، ذخیره کربن و حذف رادیکال‌هاست. قندها سبب تنظیم اسمزی هم‌چنین پایداری غشاها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌شوند (Tavakoli Hasanaklou *et al.*, 2014). این عمل می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل قندها و زنجیره‌های قطبی پروتئین‌ها و بالاخره پایدار سازی پروتئین‌ها صورت گیرد. برای مثال، تجمع ساکارز موجب حفظ فسفولیپیدهای غشا شده و از تغییرات ساختاری در پروتئین‌های محلول در سلول جلوگیری می‌کند (Parvaiz & Satyawati, 2008).

در آزمایشی نشان داده شد که تحت تیمار پوترسین غلظت قندهای محلول که در مکانیسم‌های دفاعی گیاه نقش اساسی دارند در گیاه گندم افزایش یافت (خیری سیس و همکاران، ۱۴۰۰). در مطالعه‌ای بیان شد که ترکیبات پلی‌آمین پوترسین و به‌ویژه اسپرمیدین از طریق افزایش تنظیم کننده‌های اسمزی مثل قند محلول و پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز سبب کاهش تأثیر شوری شد (دادگر و اوجی، ۱۳۹۸). پلی‌آمین‌ها در ساخت قندها و کربوهیدرات‌ها نقش مؤثری دارند. گزارش شده که آن‌ها در گیاه مانند تنظیم‌کننده رشد عمل کرده و احتمالاً در برخی فرایندهای بیولوژیک دخالت داشته باشند که مرتبط با بیوستز قندهای محلول است (Mahgoub *et al.*, 2011). گزارش شده است که افزودن پوترسین موجب حفظ آنزیم‌های کلیدی فتوسنتز از خسارات ناشی از تنش شوری شده و تولید قندهای محلول در اندام هوایی را در گیاه تاتوره افزایش داد (Niakan *et al.*, 2015). از سوی دیگر نقش پلی‌آمین‌ها به‌عنوان اسمولیت و پاک کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان نیز مطرح می‌باشد که دلیلی بر کاهش تولید و انباشت اسمولیت‌های سازگار مانند قندهای محلول می‌تواند باشد (Navakoudis & Kotzabasis, 2022).

در پژوهشی گزارش شده است که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریزنمونه سیب شد (Zahedzadeh *et al.*, 2019). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان با تحمل تنش رابطه مستقیم دارد. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تنش شوری در شرایط درون‌شیشه‌ای در گیاهان مختلف گزارش شده است. هم‌چنین زمانی که میان تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن و سیستم آنتی‌اکسیدانی برای دفع مولکول‌های رادیکال آزاد تعادل برقرار باشد، از صدمه اکسیداتیو به لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک جلوگیری می‌شود (Yang *et al.*, 2014). پلی‌آمین‌ها زنجیره‌ای از واکنش‌های دفاعی را راه‌اندازی می‌نمایند که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یکی از نتایج آن می‌باشد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در اثر کاربرد پلی‌آمین‌ها را می‌توان ناشی از اتصال پلی‌آمین‌ها با مولکول‌های پروتئین دانست که مانع از شکستن آن‌ها می‌شود (البرز و همکاران، ۱۳۹۴). پژوهش‌گران اظهار داشتند که افزایش تنش شوری و هم‌چنین کاربرد پوترسین با غلظت ۱ میلی‌مولار سبب افزایش فعالیت درصد مهار رادیکال آزاد در گیاه استویا گردید (گرامی و همکاران، ۱۳۹۸) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت. پژوهش‌گران بیان داشتند که پوترسین قادر است با کم‌کردن میزان پروکسید هیدروژن نقش آنتی‌اکسیدانی داشته باشد (Mohammadi *et al.*, 2023). هم‌چنین پوترسین می‌تواند با خنثی‌کردن گونه‌های فعال اکسیژن، از آسیب احتمالی آن بر سلول جلوگیری کرده و باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گردد (Hasanuzzaman *et al.*, 2022).

گزارش شده است که با افزایش تنش شوری درصد مواد آلی برگ و ریشه گیاه خرفه کاهش ولی درصد خاکستر افزایش یافت (Rahimi & Kafi, 2010). تنش شوری با تأثیر روی کاهش فتوسنتز و رشد گیاه و هم‌چنین تجمع عناصر معدنی نظیر سدیم سبب کاهش تولید مواد آلی می‌شود با این‌حال گیاه کاملینا به مقدار مناسبی توانست درصد مواد آلی خود را حتی در شوری‌های بالا حفظ کند که نشان‌دهنده تحمل نسبی این گیاه به تنش شوری است. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش شوری یون‌های سدیم و پتاسیم جذب‌شده بخش قابل‌توجهی از حجم سلول‌های مزوفیل را تشکیل داده، در نتیجه فتوسنتز و رشد گیاه کاهش می‌یابد (Rahimi & Kafi, 2010).

در شوری زیاد عملکرد دانه به‌دلیل کاهش جذب آب و مواد غذایی کاهش یافته است. در آزمایشی بیان شده است که با افزایش تنش شوری در گیاه سالیکورنیا عملکرد خشک و تر کاهش معنی‌داری یافت (رنجبر و همکاران، ۱۴۰۰) که با یافته‌های ما در این مطالعه مطابقت داشت. اثرات منفی تنش شوری دارای سه مرحله کاهش پتانسیل آب، به‌هم‌زدن تعادل یونی یا اختلال در هموستازی یونی و سمیت یونی می‌باشد. تغییر در وضعیت آب به‌دلیل تنش شوری منجر به منفی‌شدن پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود که در نهایت کاهش ابتدایی رشد و محدودشدن عملکرد دانه را موجب می‌گردد (Jam *et al.*, 2023). در پژوهشی بیان شده است که با افزایش شدت تنش شوری، وزن خشک و تر گیاه کاملینا کاهش معنی‌داری یافت (Huang *et al.*, 2021). کاهش رشد گیاهان تحت تنش شوری می‌تواند به‌علت کاهش ذخایر انرژی گیاه باشد که در نهایت باعث کاهش و اختلال فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی در گیاهان مختلف می‌شود (Sardari *et al.*, 2022). یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش شوری این است که در این شرایط غلظت یون سدیم در گیاه افزایش یافته و گیاه برای به حداقل‌رساندن خسارت به سلول‌ها مجبور است تمام انرژی خود را صرف بیرون‌راندن این یون نماید در نتیجه این مصرف انرژی، رشد گیاه و در نهایت عملکرد دانه کاهش خواهد یافت (کاظم‌زاده حقیقی، ۱۳۸۹).

به‌تازگی برخی مطالعات نشان داده‌اند سطوح داخلی پلی‌آمین‌ها با محلول‌پاشی خارجی افزایش می‌یابد که موجب می‌گردد کارایی فتوسنتز و عملکرد دانه در برابر تنش‌های محیطی افزایش یابد (Tang & Newton, 2005). همسو با یافته‌های ما در این پژوهش، پژوهش‌گران گزارش کردند که کاربرد پلی‌آمین‌ها از جمله اسپرمیدین با بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و افزایش شدت فتوسنتز گیاه سبب بهبود عملکرد گیاه توت فرنگی شد (Farahi *et al.*, 2017). علت تأثیر بیش‌تر اسپرمین نسبت به دیگر پلی‌آمین‌ها در افزایش عملکرد دانه احتمالاً به‌دلیل وجود تعداد گروه آمینی بیش‌تر در ساختار آن می‌باشد (اعلایی و همکاران، ۱۴۰۰). یافته‌های این مطالعه ما را به این نتیجه می‌رساند که کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها ممکن است به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های بالقوه برای افزایش رشدونمو کاملینا در شرایط شور از طریق افزایش جذب مواد معدنی، باعث تعدیل اثرات تنش شوری شده و عملکرد دانه را بهبود بخشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تنش شوری تأثیرات مخرب زیادی بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهان دارند. تنش شوری به‌دلیل ایجاد سمیت یونی و اختلال در جذب و فراهمی یون‌های مورد نیاز در تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار این ترکیبات را کاهش می‌دهد که در این پژوهش بیش‌ترین شاخص کلروفیل در شوری صفر و کم‌ترین در شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. پلی‌آمین‌ها با بهبود ثبات و پایداری غشا، کاهش نشت یونی، افزایش شاخص کلروفیل، قندهای محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، وزن خشک دانه، روغن و پروتئین کاملینا را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه کاملینا شد. به‌طورکلی طبق نتایج این پژوهش، استفاده از پلی‌آمین‌ها مانند اسپرمین،

اسپرمیدین و پوترسین از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌تواند به‌عنوان ترکیبات تعدیل‌کننده تنش شوری در گیاه کاملینا مطرح شوند.

۷. تشکر و قدردانی

از زحمات مسئولین محترم آزمایشگاه‌های دانشگاه پیام نور مرکز ارومیه، جهاد دانشگاهی ارومیه، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و کلیه دانشجویان که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

اعلایی، میترا؛ کرمی، زهرا؛ ارغوانی، مسعود و صالحی، فهیمه (۱۴۰۰). مطالعه اثر اسپرمین در شرایط تنش شوری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه پروانش (*Chatarantus roseus* L.). *مجله علوم باغبانی ایران*، ۵۲ (۳)، ۵۵۳-۵۶۴.

البرز، زبیده؛ حبیبی، فریبرز و مرتضوی، سید نجم‌الدین (۱۳۹۴). اثر محلول‌پاشی پوتریسین و اسپرمین بر افزایش عمر گلجایی آلسترومریا رقم سوکاری. *مجله به‌زراعی کشاورزی*. ۱۷ (۱)، ۲۴۱-۲۵۵.

بنی‌اسدی، فاطمه؛ صفاری، وحیدرضا و مقصودی مود، علی اکبر (۱۳۹۴). اثر پوترسین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت تنش شوری. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۸ (۱)، ۷۳-۸۲.

خیری سیس، میلاد؛ جهانبخش گده کهریز، سدابه و رئیسی ساداتی، سیده یلدا (۱۴۰۰). تأثیر پوترسین در افزایش تحمل گندم به تنش خشکی بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی در گندم. *پژوهش‌های گیاهی*. ۳۴ (۲)، ۴۶۴-۴۷۸.

دادگر، علی‌رضا و اوجی، محمد رحیم (۱۳۹۸). بررسی بهبود عملکرد بیولوژیکی و شاخص‌های فیزیولوژیکی زنیان (*Carum copticum* L.) تحت تأثیر کاربرد پلی‌آمین‌ها در شرایط تنش شوری. *مجله علمی زراعت و اصلاح نباتات ایران*. ۱۵ (۳)، ۱۷-۳۴.

رنجبر، غلامحسین و آناقلی، امین (۱۳۹۷). *مفاهیم تنش شوری و واکنش گیاه*. چاپ اول. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۴۸ صفحه.

رنجبر، غلامحسین؛ پیراسته انوشه، هادی؛ شیران تفتی، مهدی و نیکخواه، مجید (۱۴۰۰). تأثیر سطوح مختلف شوری آب بر محتوی خاکستر، غلظت عناصر و زیست‌توده سالیکورنیا (*Salicornia bigelovii* Torr.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱۴ (۴)، ۱۰۶۹-۱۰۷۹.

شیخ‌زاده، پریسا؛ امانی، محمد؛ خماری، سعید؛ زارع، ناصر و رزمی، نسرین (۱۴۰۱). بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکردی سویا با کاربرد ترکیبات مغذی و پلی‌آمین در شرایط تنش خشکی انتهای فصل. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۱۵ (۳)، ۵۹۵-۶۱۱.

عزیزی، فرحناز؛ مقدم، محمد؛ فرسرایی، سارا و مشفق، دین محمد (۱۴۰۰). تأثیر کاربرد آزومیت بر کاهش خسارت ناشی از تنش شوری در گیاه جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.). *تولیدات گیاهی*. ۴۴ (۲)، ۲۴۷-۲۵۸.

علیزاده، امین (۱۳۸۹). *رابطه آب، خاک و گیاه*. چاپ سیزدهم. ویرایش سوم. مشهد: انتشارات آستان قدس. ۴۸۴ صفحه.

عمادی، مریم سادات؛ حسیبی، پیمان و عظیمی، عبدالرضا (۱۳۹۲). اثر محلول‌پاشی پوترسین و عناصر غذایی بر عملکرد دانه و کیفیت دو رقم گندم نان. *مجله علوم زراعی ایران*. ۱۵ (۳)، ۲۴۷-۲۶۱.

فتحی امیرخیز، کیوان؛ امینی‌دهقی، مجید؛ مدرس ثانوی، سید علی‌محمد و رضازاده، علیرضا (۱۴۰۰). تأثیر کم آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر عملکرد دانه و روغن، کارایی مصرف آب و تولید اسیدهای چرب روغن دانه گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.). *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*. ۵۲ (۳)، ۷۹-۹۶.

کاظم‌زاده حقیقی، علی (۱۳۸۹). ارزیابی تحمل به شوری براساس جوانه‌زنی در نُه رقم سورگوم علوفه‌ای. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*. ۵ (۳)، ۷۴-۸۱.

کلهر، مرضیه؛ دهستانی اردکانی، مریم؛ شیرمردی، مصطفی و غلام نژاد، جلال (۱۳۹۸). اثر بسترهای مختلف کشت بر برخی صفات فیزیکوشیمیایی گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت تنش شوری. *تولیدات گیاهی*. ۴۲ (۱)، ۸۹-۱۰۲.

گرامی، مهیار؛ محمدیان، اطهر و اکبرپور، وحید (۱۳۹۸). بررسی اثر پوترسین و سالیسیلیک‌اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* B.) در شرایط شوری. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*. ۱۱ (۲۹)، ۴۰-۵۴.

مرتضوی، سید هاشم؛ ارغوانی، مسعود؛ حسن‌پور اصیل، معظم و خیری، عزیز اله (۱۴۰۰). اثر پلی‌آمین‌ها بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گل شاخه بریدنی زنبق (Iris 'hollandica 'Magic Blue). *علوم باغبانی ایران*. ۵۲ (۲)، ۲۶۹-۲۸۰.

مکی زاده تفتی، مریم؛ توکل افشاری، رضا؛ مجنون حسینی، ناصر و نقدی بادی، حسنعلی (۱۳۸۷). بررسی تحمل به شوری و میزان جذب املاح گیاه گاوزبان (*Borago officinalis* L.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۲۴ (۳)، ۲۵۳-۲۶۲.

نباتی، جعفر؛ کافی، محمد؛ نظامی، احمد؛ رضوانی مقدم، پرویز؛ معصومی، علی و زارع مهرجردی، محمد (۱۳۹۰). اثر تنش شوری بر عملکرد، اجزای عملکرد علوفه و خصوصیات مورفولوژیکی کوشیا (*Kochia scoparia* L.). *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*. ۴۲ (۴)، ۷۳۵-۷۴۳.

نباتی، جعفر؛ کافی، محمد؛ نظامی، احمد؛ رضوانی مقدم، پرویز؛ معصومی، علی و زارع مهرجردی، محمد (۱۳۹۳). اثر زمان اعمال سطوح مختلف تنش شوری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه کوشیا (*Kochia scoparia* L.). *پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۲ (۴)، ۶۲۰-۶۱۳.

References

Aelaei, M., Karami, Z., Arghavani, M., & Salehi, F. (2021). The Study of effects of spermine under salinity stress on morphophysiological characteristics of *Catharanthus roseus* L. *Iranian Journal of Horticultural Science, 52*(3), 553-564. doi:10.22059/ijhs.2021.291658.1734. (In Persian).

Ahmad, M., Waraich, E. A., Zulfiqar, U., Ullah, A., & Farooq, M. (2023). Thiourea application increases seed and oil yields in *Camelina* under heat stress by modulating the plant water relations and antioxidant defense system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 23*(1), 290-307.

Alborz, Z., Habibi, F., & Mortazavi, S. N. (2015). Effect of putrescine and spermine spraying on increasing vase life of alstroemeria (cv.'Sukari'). *Journal of Crops Improvement, 17*(1), 241-255. (In Persian).

Alizadeh, A. (2009). *The relationship between water, soil and plants*. Mashhad: Astan Quds Publications. p. 484. (In Persian).

AOA, C. (1990). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis 15th Ed Washington DC. *USA*.

Azizi, F., Moghaddam, M., Farsaraei, S., & Moshfegh, D. M. (2021). The Effect of Azomite Application on Reducing the Damage of Salinity Stress in Mexican Marigold (*Tagetes minuta* L.). *Plant Productions, 44*(2), 247-258. doi:10.22055/ppd.2019.29933.1778. (In Persian).

Bai, B. Z., Yu, S. Q., Tian, W. X., & Zhao, J. Y. (1996). *Plant Physiology*. Beijing, China: China Agricultural Science Press.

Bakyani, M. R. F., Alinia, M., Kazemeini, S. A., Abadía, J., & Dadkhodaie, A. (2022). Foliar application of melatonin improves the salt tolerance, ion and redox homeostasis and seed oil fatty acid profile in *camelina sativa*. *Plants, 11*(22), 3113.

Baniasadi, F., Saffari, V. R., & Maghsoudi moud, A. A. (2015). Effect of putrescine on some physiological and morphological characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 8*(1), 73-82. doi: 10.22077/escs.2015.202. (In Persian).

Bayat, S., & Sepehri, A. (2012). Paclobutrazol and salicylic acid application ameliorates the negative effect of water stress on growth and yield of maize plants. *Journal of Research in Agricultural Science*, 8(2), 127-139.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology, 28*(1), 25-30.

Dadgar, A. R., & Owji, M. R. (2019). Study of improvements in the biological yield and the physiologic indicators of Ajwan (*Carum copticum* L.) as affected by application of polyamines under salt stress conditions. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 15*(3), 17-34. (In Persian).

Deotale, R., Wagh, Y., Patil, S., & Kalamkar, V. (2016). Influence of putrescine and indole-3-butyric acid on chemical and biochemical parameters and yield of soybean. *International Journal of Current Research, 8*(3), 27248-27255.

Desoky, E. S. M., Alharbi, K., Rady, M. M., Elnahal, A. S. M., Selem, E., Arnaout, S. M. A. I., & Mansour, E. (2023). Physiological, biochemical, anatomical, and agronomic responses of sesame to exogenously applied polyamines under different irrigation regimes. *Agronomy, 13*(3), 875.

Dobre, P., & Jurcone, Ş. (2011). *Camelina sativa*-an oilseed crop with unique agronomic characteristics. *Scientific Papers-Series A, Agronomy, 54*, 425-430.

Doğan, M. (2011). Antioxidative and proline potentials as a protective mechanism in soybean plants under salinity stress. *African Journal of Biotechnology, 10*(32), 5972-5978.

ElSayed, A. I., Mohamed, A. H., Rafudeen, M. S., Omar, A. A., Awad, M. F., & Mansour, E. (2022). Polyamines mitigate the destructive impacts of salinity stress by enhancing photosynthetic capacity, antioxidant defense system and upregulation of calvin cycle-related genes in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences, 29*(5), 3675-3686.

Emadi, M., Hassibi, P., & Azimi, A. (2013). Effect of foliar application of Putrescine and nutrient elements on grain yield and quality of two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences, 15*(3), 247-261. (In Persian).

Etesami, H., Fatemi, H., & Rizwan, M. (2021). Interactions of nanoparticles and salinity stress at physiological, biochemical and molecular levels in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 225*, 112769.

Fani, E., & Hajihashemi, S. (2022). Investigation of the effect of silica spraying and salinity stress on some physiological traits of Camelina oil plant (*Camelina sativa*). *Journal of Plant Environmental Physiology*, doi:10.30495/iper.2022.1954207.1780.

Farahi, M. H., Dastyaran, M., & Yosefi, F. (2017). Effect of polyameins (PAs) and humic acid (HA) on growth, yield and concentration of mineral elements in shoot and root of strawberry. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 18*(2), 209-220.

Farooq, S., & Azam, F. (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *Journal of Plant Physiology, 163*(6), 629-637.

Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavy, S. A. M., & Rezazadeh, A. (2021). Effect of deficit irrigation and foliar application of polyamines on seed and oil yields, water use efficiency and fatty acids production in spring safflower seed oil (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 52*(3), 79-96. (In Persian).

Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New phytologist*, 945-963.

Gerami, M., Mohammadian, A., & Akbarpour, V. (2019). The effect of putrescine and salicylic acid on physiological characteristics and antioxidant in *Stevia rebaudiana* B. under salinity stress. *Journal of Crop Breeding, 11*(29), 40-54. doi:10.29252/jcb.11.29.40. (In Persian).

Ghidoli, M., Ponzoni, E., Araniti, F., Miglio, D., & Pilu, R. (2023). Genetic improvement of *Camelina sativa* (L.) crantz: opportunities and challenges. *Plants, 12*(3), 570.

González-Hernández, A. I., Scalschi, L., Vicedo, B., Marcos-Barbero, E. L., Morcuende, R., & Camañes, G. (2022). Putrescine: a key metabolite involved in plant development, tolerance and resistance responses to stress. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(6), 2971.

Grattan, S., Benes, S., Peters, D., & Diaz, F. (2008). Feasibility of irrigating pickleweed (*Salicornia bigelovii* Torr) with hyper-saline drainage water. *Journal of Environmental Quality, 37*(S5), S-149-S-156.

Hai, X., Mi, J., Zhao, B., Zhang, B., Zhao, Z., & Liu, J. (2022). Foliar application of spermidine reduced the negative effects of salt stress on oat seedlings. *Frontiers in Plant Science, 13*. doi:10.3389/fpls.2022.846280.

Hasanuzzaman, M., Ahmed, N., Saha, T., Rahman, M., Rahman, K., Alam, M. M., & Nahar, K. (2022). Exogenous salicylic acid and kinetin modulate reactive oxygen species metabolism and glyoxalase system to confer waterlogging stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Stress, 3*, 100057.

Hernández, J. A., Ferrer, M. A., Jiménez, A., Barceló, A. R., & Sevilla, F. (2001). Antioxidant systems and O2.−/H2O2 production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiology, 127*(3), 817-831.

Hezaveh, T. A., Pourakbar, L., Rahmani, F., & Alipour, H. (2019). Interactive effects of salinity and ZnO nanoparticles on physiological and molecular parameters of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50*(6), 698-715.

Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(9), 5186. https://doi.org/10.3390/ijms23095186.

Huang, P,. He, L., Abbas, A., Hussain, S., Hussain, S., Du, D., & Ren, X. (2021). Seed priming with sorghum water extract improves the performance of camelina (*Camelina sativa* (L.) crantz.) under salt stress. *Plants, 10*(4), 749.

Jam, B. J., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., Najafi, J., & Mastinu, A. (2023). Impact of silicon foliar application on the growth and physiological traits of Carthamus tinctorius L. exposed to salt stress. *Silicon, 15*(3), 1235-1245.

Kalhor, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., & Gholam Nezhad, J. (2019). Effect of different media cultures on physico-chemical characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) plants under salt stress. *Plant Productions, 42*(1), 89-102. (In Persian).

Kazemzadeh Haghighi, A. (2010). Evaluation of salinity tolerance in relation to seed germination, in nine forage sorghum varieties *Sorghum bicolor* (L.) mohench. *Plant Environmental Physiology, 5*(3), 74-81. (In Persian).

Kheiri Sis, M., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., & Raeesi sadati, S. Y. (2021). Putrescine impact in increasing the tolerance of plants to drought stress on some of biochemical parameters in wheat. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 34*(2), 464-478. (In Persian).

Kiełkowska, A., & Adamus, A. (2021). Exogenously Applied Polyamines Reduce Reactive Oxygen Species, Enhancing Cell Division and the Shoot Regeneration from *Brassica oleracea* L. var. capitata Protoplasts. *Agronomy, 11*(4), 735.

Lopez, C., Sotin, H., Rabesona, H., Novales, B., Le Quéré, J.-M., Froissard, M., & Anton, M. (2023). Oil bodies from Chia (*Salvia hispanica* L.) and Camelina (*Camelina sativa* L.) seeds for innovative food applications: Microstructure, composition and physical stability. *Foods, 12*(1), 211.

Mahgoub, M., El-Aziz, N., & Mazhar, A. (2011). Response of Dahlia pinnata L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 10*(5), 769-775.

Makkizadeh Tafti, M., Tavakol Afshari, R., Majnoon Hosseini, N., & Naghdi Badi, H. A. (2008). Evaluation of salinity tolerance and absorption of salt by Borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 24*(3), 253-262. (In Persian).

Mndi, O., Sogoni, A., Jimoh, M. O., Wilmot, C. M., Rautenbach, F., & Laubscher, C. P. (2023). Interactive effects of salinity stress and irrigation intervals on plant growth, nutritional value, and phytochemical content in *Mesembryanthemum crystallinum* L. *Agriculture, 13*(5), 1026.

Mohammadi, H., Hazrati, S., & Hatami, M. (2023). Effects of plant growth regulators on physiological and phytochemical parameters in medicinal plants under stress conditions. In *Plant Stress Mitigators*. Amsterdam: Elsevier.

Mortazavi, S. H., Arghavani, M., Hassanpour Asil, M., & Kheiri, A. (2021). Effect of polyamines on morphophysiological characteristics of Dutch iris (Iris hollandica 'Blue Magic') cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science, 52*(2), 269-280. doi:10.22059/ijhs.2020.287494.1701. (In Persian).

Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrjerdi, M. (2012). Effect of Salinity on Morphological Characteristics, Yield and Yield Components of Kochia (*Kochia scoparia* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 42*(4), 735-7. (In Persian).

Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrjerdi, M. (2014). Evaluation of quantitative and qualitative characteristic of forage Kochia (*Kochia scoparia*) in different salinity levels and time. *Iranian Journal of Field Crops Research, 12*(4), 613-620. doi:10.22067/gsc.v12i4.45144. (In Persian).

Navakoudis, E., & Kotzabasis, K. (2022). Polyamines: A bioenergetic smart switch for plant protection and development. *Journal of Plant Physiology*, 153618.

Neupane, D., Lohaus, R. H., Solomon, J. K., & Cushman, J. C. (2022). Realizing the potential of *Camelina sativa* as a bioenergy crop for a changing global climate. *Plants, 11*(6), 772.

Niakan, M., Rezapour Mahjoob, S., & Ghorbanli, M. (2015). Effect of exogenous putrescine on growth, photosynthesis and alkaloid compounds of Datura (*Datura stramonium* L.) in response to salinity stress under hydroponic conditions. *Soil and Plant Interactions, 6*(1), 111-123. doi:10.18869/acadpub.ejgcst.6.1.111.

Parvaiz, A., & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant, Soil and Environment, 54*(3), 89-99.

Qaoud, H. A., Ali, I. A., Al-fares, H., Qubbaj, T., & Shtaya, M. J. (2023). Effect of salinity on the growth and some morphological traits of pearl millet. *Pakistan Journal of Botany, 55*(3), 807-811.

Rabrenović, B. B., & Vujasinović, V. B. (2022). Industrial hempseed oil and lipids: Processing and properties. In *Industrial Hemp*. Amsterdam: Elsevier.

Rahimi, Z., & Kafi, M. (2010). Effects of salinity and silicon application on biomass accumulation, sodium and potassium content of leaves and roots of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition, 57*(2), 341-347.

Ranjbar, G., & Anagholi, A. (2018). *Salt Stress Concepts and Plant Response*. Tehran: Agricultural Education and Extension Press. p. 148. (In Persian).

Ranjbar, G., Pirasteh-Anosheh, H., Shiran Tafti, M., & Nikkhah, M. (2021). Effect of water salinity on biomass, ash content and some ions concentration in pickleweed (*Salicornia bigelovii* Torr.). *Environmental Stresses in Crop Sciences,14*(4),1069-1079. doi:10.22077/escs.2020.3670.1889.(In Persian).

Rostami Ahmadvandi, H., Kehrizi , D., Ghobadi, R., & Akbarabadi, A. (2019). Camelina, a unique oilseed with high tolerance to drought and cold. *Journal of of oilseed plants, 2*(2), 63-73.

Rostami Ahmadvandi, H., Zeinodini, A., Ghobadi, R., & Gore, M. (2021). Benefits of adding camelina to rainfed crop rotation in Iran: a crop with high drought tolerance. *Agrotechniques in Industrial Crops, 1*(2), 91-96.

Sardari, Y., Rezaei Tabar, M., & Asbahi Sis, S. (2022). Evaluation of the effect of salicylic acid application on morphological characteristics of *Haft Rang* cultivar under potting conditions and different salinity stresses. *Journal of Environmental Science Studies, 7*(3), 5303-5315. doi:10.22034/jess.2022.339837.1775.

Schillinger, W. F., Wysocki, D. J., Chastain, T. G., Guy, S. O., & Karow, R. S. (2012). Camelina: Planting date and method effects on stand establishment and seed yield. *Field Crops Research, 130*, 138-144.

Seyed Sharifi, R., & Gholinezhad, E. (2022). *Evaluation of agronomic and morphophysiological traits of crop plants*. Ardabil: Mohaghegh Ardabili University. p. 400.

Shahbazi, N., Kazemitabar, S. K., kiani, G., Pakdin Parizi, A., & Mehraban Joubani, P. (2021). Physiological and biochemical responses of different sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes under salinity stress. *Plant Process and Function, 10*(45), 207-234.

Sheikhzadeh, P., Amani, M., Khomari, S., Zare, N., & Razmi, N. (2022). Improvement of soybean physiological traits and yield under the end season drought stress conditions through the foliar spray of nutrient elements and polyamine. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 15*(3), 595-611. (In Persian).

Shiranirad, S., Eyni-Nargeseh, H., Shirani Rad, A. H., & Malmir, M. (2023). Managing irrigation and sowing date can improve oil content and fatty acid composition of *Camelina sativa* L. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-15.

Shu, J., Ma, X., Ma, H., Huang, Q., Zhang, Y., Guan, M., & Guan, C. (2022). Transcriptomic, proteomic, metabolomic, and functional genomic approaches of Brassica napus L. during salt stress. *PLoS One, 17*(3), e0262587.

Tang, W., & Newton, R. J. (2005). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in *Virginia pine*. *Plant Growth Regulation, 46*, 31-43.

Tavakoli Hasanaklou, H., Ebadi, A., & Jahanbakhsh, S. (2014). Study of some tolerance mechanisms to water dificit stress in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research, 4*(1), 13-25.

Tyagi, A., Ali, S., Ramakrishna, G., Singh, A., Park, S., Mahmoudi, H., & Bae, H. (2022). Revisiting the role of polyamines in plant growth and abiotic stress resilience: mechanisms, crosstalk, and future perspectives. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(8), 5074-5098.

Yang, Z., Chang, Z., Sun, L., Yu, J., & Huang, B. (2014). Physiological and metabolic effects of 5-aminolevulinic acid for mitigating salinity stress in creeping bentgrass. *PLoS One, 9*(12), e116283.

Zahedzadeh, F., Zaare-Nahandi, F., Dadpour, M. R., Motalebi-Azar, A., & Salteh, S. A. (2019). Effects of aminolevulinic acid on growth, antioxidant activity and anthocyanin accumulation of apple explants under salinity stress in in vitro culture conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science, 50*(3), 667-681.

Zörb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant biology, 21*, 31-38.