Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
Islamic Azad University Gorgan Branch
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran

Investigation of the effect of silica spraying and salinity stress on some physiological traits of *Camelina sativa* oil plant

Ebrahim Fani[1*], Shokoofeh Hajihashemi[1]

[1] Biology Department, Faculty of Basic Science, Behbahan Khatam Alanbia University Of Technology, Khouzestan, Iran, Email: ebrahim_710@yahoo.com

[2] Biology Department, Faculty of Basic Science, Behbahan Khatam Alanbia University Of Technology, Khouzestan, Iran. Email: sh_hajihashemi@ymail.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 04.03.2022
Revised: 12.05.2022
Accepted: 14.05.2022
Published:20.04.2023

Keywords
Antioxidant capacity
Chlorophyll a
Chlorophyll b
Soluble protein
Soluble sugar

Abstract

In order to investigate the effects of salinity stress and foliar application of silica on *Camelina sativa* oil plant, a factorial study was carried out in the growth chamber of the laboratory of the Department of Biology, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, in 3 replications based on a completely randomized block design. Treatments included salinity stress at two levels (0 and 100 mM NaCl) and potassium silicate solution at two levels (0 and 5 mM). The physiological and biochemical traits of *Camelina sativa* under salinity stress were evaluated along with the role of osmotic substances such as soluble sugar and soluble protein in reducing the harmful effects of salinity stress. Results showed that salinity stress significantly reduced the amount of chlorophyll a, b, and total in *Camelina sativa*, while silica treatment significantly reduced the harmful effects of salinity. Soluble sugar content of leaves in response to salinity stress was 46% lower than in the control plant. Salinity stress combined with silica increased the amount of soluble sugar 27% more than the control plant. Results also showed that in the treatment with silica under 100 mM salinity level, the amount of leaf proteins was almost 10% less than the control plants. The results of measuring the plant's antioxidant capacity of FRAP showed that in response to silica treatment without salinity, no significant difference was observed in the amount of antioxidant capacity of FRAP, while in the combined treatment of salinity stress + silica it decreased by 9% compared with the control plants. The results of this study supports the beneficial role of silica as an environmentally friendly compound to increase plant resistance to salinity stress.

Cite this article as: Fani, E., Hajihashemi, Sh. (2023). Investigation of the effect of silica spraying and salinity stress on some physiological traits of Camelina sativa as oil plant. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 69(1): 149-159.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1954207.1780
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.8.6

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیس و تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه روغنی کاملینا (*Camelina sativa*)

ابراهیم فانی[1*]، شکوفه حاجی هاشمی[2]

۱ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران، رایانامه: ebrahim_710@yahoo.com

۲ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران، رایانامه: sh_hajihashemi@ymail.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

واژه‌های کلیدی:
پروتئین محلول
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
کلروفیل a
کلروفیل b
قند محلول

چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش شوری و محلول‌پاشی سیلیس بر روی گیاه روغنی کاملینا، مطالعه‌ای در اتاقک رشد آزمایشگاه گروه زیست‌شناسی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان در ۳ تکرار با طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب پایه کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. تیمارها شامل تنش شوری در دو سطح (بدون تنش و تنش ۱۰۰ میلی‌مولار) و محلول سیلیکات پتاسیم در دو سطح (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۵ میلی‌مولار) بود. هدف از این مطالعه، بررسی اثرات تیمار خارجی سیلیس بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کاملینا در شرایط تنش شوری و ارزیابی نقش مواد اسمزی مانند قند محلول و پروتئین محلول در کاهش اثرات مضر تنش شوری در گیاه کاملینا به عنوان یک گیاه مهم روغنی بود. نتایج نشان داد که تنش شوری در سطح معنی داری سبب کاهش میزان کلروفیل‌های a، b و کل در گیاه کاملینا شد، درحالیکه تیمار سیلیس در سطح معنی‌داری سبب کاهش اثرات مضر شوری برآنها شد. میزان قند محلول برگ در پاسخ به تنش شوری ٤٦ درصد کمتر از گیاه شاهد بود. تنش شوری توام با سیلیس میزان قند محلول را ۲۷ درصد بیشتر از گیاه شاهد افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد که در تیمار سیلیس توام با ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم میزان پروتئین‌های برگ تقریبا ۱۰ درصد کمتر از گیاه شاهد بود. نتایج اندازه-گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی FRAP گیاه نشان داد که در پاسخ به تیمار سیلیس بدون شوری تفاوت معنی داری در میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده نشد، در حالی که در تنش شوری توام با تیمار سیلیس سبب کاهش ۹ درصد کمتر از گیاه شاهد شد. نتایج این تحقیق نشانگر نقش مفید سیلیس به عنوان یک ترکیب سازگار با محیط زیست به منظور افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری بود.

استناد: فانی، ابراهیم؛ حاجی هاشمی، شکوفه. (۱۴۰۲). بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیس و تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه روغنی کاملینا (*Camelina sativa*). *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦٩ (۱)، ۱۵۹-۱٤۹.

Doi: 10.30495/iper.2022.1954207.1780
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.8.6

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات در مرتبه دوم ذخایر غذایی جهان قرار گرفته‌اند. این محصولات دارای مقادیر بالای اسیدهای چرب بوده و از این لحاظ مورد توجه قرار می‌گیرند. روغن‌های خوراکی مصرفی انسان به طور عمده از دانه‌های روغنی مانند آفتابگردان، سویا و کلزا به دست می‌آیند که نیاز آبی بالایی دارند (Shariati and Ghazi - Shahnizadeh, 2000). گیاه روغنی کاملینا (*Camelina sativa*) از خانواده‌ی براسیکاسه است و در مطالعات مختلف نشان داده شده است که نیازهای آبی کمتر و مقاومت به سرمای بیشتری نسبت به سایر گیاهان روغنی به خصوص کلزا دارد. پتانسیل عملکرد بالا در گیاه کاملینا در شرایط آب و هوایی ایالت مونتانای آمریکا به اثبات رسیده و امکان قرار گرفتن آن در تناوب با غلات دانه‌ریز، مناسب گزارش شّده است (Franchi et al., 2010). دانه این گیاه حاوی ۲۵-۳۵ درصد روغن و کنجاله آن حاوی ۳۶ درصد پروتئین می‌باشد. برای درصد روغن کاملینا تنوع خوبی مشاهده شده است و تا بالاتر از ۴۰ درصد هم گزارش وجود دارد (Kahrizi and Rostami- Ahmadvandi, 2015). کاملینا خواص بسیار زیادی مانند تغذیه (استفاده به عنوان روغن خوراکی)، سلامت و بهداشت (به علت داشتن امگا ۳ بالا در مصارف پزشکی مانند جلوگیری از ابتلا به سرطان)، صنعت سوخت (تولید صنعتی سوخت‌های زیستی) و صنایع صمغ و واکس (جایگزین مناسب برای واکس‌های جاجوبا که بسیار گران است و کاربرد زیاد در صنایع آرایشی و بهداشتی) دارد (Kahrizi et al., 2016).

تاکنون مطالعات محدودی بر روی پاسخ گیاه کاملینا نسبت به تنش‌های زیستی صورت گرفته است (Heydarian et al., 2018; Khalid et al., 2015). تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌ها در میان تنش‌های غیرزنده محسوب می‌شود و یکی از موانع جدی در تولید محصولات کشاورزی است (Hajihashemi et al., 2022; Ibrahimova et al., 2021). تخمین‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی حدود ۲۰ درصد از زمین‌های دیم و ۳۳ درصد از زمین‌های آبی متأثر از تنش شوری هستند (Mukhopadhyay et al., 2021). برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد از محصولات کشاورزی به علت تنش شوری در ایران از دست می‌رود که بیش از یک میلیارد دلار در سال به کشاورزی زیان وارد می‌کند (Qureshi et al., 2007). حدود ۲۰ درصد از کل زمین‌های آبی در ایران (حدود ۳۳ میلیون هکتار) را زمین‌های شور تشکیل می‌دهد (Zaman et al., 2018). در ایران حدود ۷ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی دارای درجات مختلف شوری هستند که به دلیل عوامل نامطلوب مانند زهکشی نامناسب، تبخیر و تعرق و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی احتمال افزایش آن وجود دارد (Momeni, 2010).

سیلیکون در زمان بروز تنش‌های محیطی با افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدکنندگی و میزان اسمولیت‌ها نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ایفا می‌کند (Amiri et al., 2014; Hajihashemi and Kazemi, 2022; Rastogi et al., 2021). سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی برگ و تشکیل لایه کوتیکول- سیلیس و در نتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی باعث تحمل بیشتر گیاه در برابر تنش محیطی می‌شود (Mam and Yamaji, 2006). مطالعات لیانگ و همکاران (Liang et al., 2007) نشان داد که کاربرد سیلیس در گیاهان تحت تنش شوری، افزایش فعالیت H^+- ATPase و H^+- PPase را در غشاء سیتوپلاسمی و غشاء واکوئل به دنبال خواهد داشت. این تغییرات باعث کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و

در نتیجه تغییر توزیع یون‌ها در ریشه‌ها و برگ‌ها می‌شود. از طرفی سیلیس موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود (Abdelaal et al., 2020; Hajihashemi and Kazemi, 2022). هدف از این مطالعه، بررسی اثرات تیمار خارجی سیلیس بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کاملینا در شرایط تنش شوری و ارزیابی نقش مواد اسمزی مانند قند محلول و پروتئین محلول در کاهش اثرات مضر تنش شوری در گیاه کاملینا به عنوان یک گیاه مهم روغنی است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در اتاقک رشد آزمایشگاه گروه زیست‌شناسی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان با رطوبت نسبی ٦٠ درصد، دمای روز ٢٤ درجه‌سانتی‌گراد و شب ١٠ درجه سانتی‌گراد، ١٦ ساعت روشنایی و ٨ ساعت تاریکی در ٣ تکرار با طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب پایه کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. تیمارها شامل تنش شوری در دو سطح (بدون تنش و تنش ١٠٠ میلی‌مولار) و محلول سیلیکات پتاسیم در دو سطح (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ٥ میلی‌مولار) بود. گلدان‌های ١ کیلوگرمی جهت کاشت بذور کاملینا استفاده شد. برای پر نمودن گلدان‌ها از مخلوط یک دوم خاک باغی و یک دوم خاک‌برگ استفاده شد. بعد از کاشت بذور و جوانه‌زنی، در نهایت در هر گلدان ٣ گیاه نگهداری شد. در مرحله‌ی ٤ برگی تیمار محلول‌پاشی در ٤ مرحله و به صورت یک روز در میان انجام و بعد از آن تیمار تنش شوری به مدت ٢ هفته اعمال شد و سپس نمونه‌برداری برگ‌ها جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی صورت گرفت.

سنجش رنگیزه های کلروفیلی: میزان کلروفیل a، b، و مجموع کلروفیل a و b (کلروفیل کل) مطابق با روش زیر و با استفاده از روابط ١، ٢و ٣ اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987). ابتدا ٠/١ گرم برگ تازه با ١٠ میلی‌لیتر استن ٨٠ درصد در هاون چینی سائیده شد و سپس محلول حاصل به مدت ١٠ دقیقه در ٣٠٠٠ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین رنگیزه‌های فتوسنتزی توسط اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر قرائت گردید. جهت صفر کردن دستگاه از استن ٨٠ درصد استفاده شد.

رابطه ١: $Chla=12/25(A663)-2/79(A645)$

رابطه ٢: $Chlb=21/21(A645)-5/1(A663)$

رابطه ٣: $ChlT= Chla+ Chlb$

سنجش کربوهیدرات های محلول: به منظور استخراج کربوهیدرات‌ها، ٠/١ گرم از بافت برگ توزین شد و با ١٠ میلی‌لیتر آب مقطر گرم در هاون سائیده شد و با کمک کاغذ واتمن شماره یک صاف شد. برای اندازه‌گیری هیدرات‌های کربن محلول، از روش فنل–اسید سولفوریک استفاده شد. بدین منظور، ٢ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی استخراج شده با ٥٠ میکرولیتر فنل ٨٠ درصد وزنی (حل شده در آب مقطر) مخلوط شده و سپس ٥ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد. این مخلوط به‌مدت ١٠ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شده و پس از آن جذب نمونه‌ها در ٤٨٥ نانومتر خوانده شد و با کمک منحنی استاندارد مربوطه میزان کربوهیدرات‌های محلول محاسبه شد (Dubois et al., 1956).

سنجش پروتئین محلول کل: استخراج پروتئین محلول با استفاده از بافر فسفات پتاسیم ٠/١ مولار (pH ٦/٨) انجام شد. عمل عصاره‌گیری در بافت تر برگ و با نسبت ١:٣ (١ گرم بافت برگ به ٣ حجم بافر استخراج) درون حمام یخ انجام شد. سپس نمونه‌ها با سرعت ١٣٠٠٠ دور در دقیقه به مدت ٢٠ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتیگراد سانتریفوژ شدند. مقدار پروتئین روشناور با استفاده از روش برادفورد

اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976). برای رسم منحنی استاندارد پروتئین‌ها از سرم آلبومین گاوی در محدوده غلظت صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر استفاده شد.

سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از روش FRAP: برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از روش FRAP (ferric reducing ability of plasma) استفاده شد (Benzie and Strain, 1996). محلول واکنش شامل ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئین و ۱/۵ میلی‌لیتر محلول FRAP که حاوی بافر استات ۳۰۰ میلی‌مولار (pH ۷)، تری‌پریدیل تریازن ۱۰ میلی‌مولار و کلرید آهن ۲۰ میلی‌مولار می‌باشد. شدت جذب این محلول در طول موج ۵۹۳ نانومتر خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد از اسید آسکوربیک خالص در محدوه غلظت صفر تا ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر استفاده شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۴) صورت پذیرفت و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه و آزمون دانکن در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ صورت گرفت.

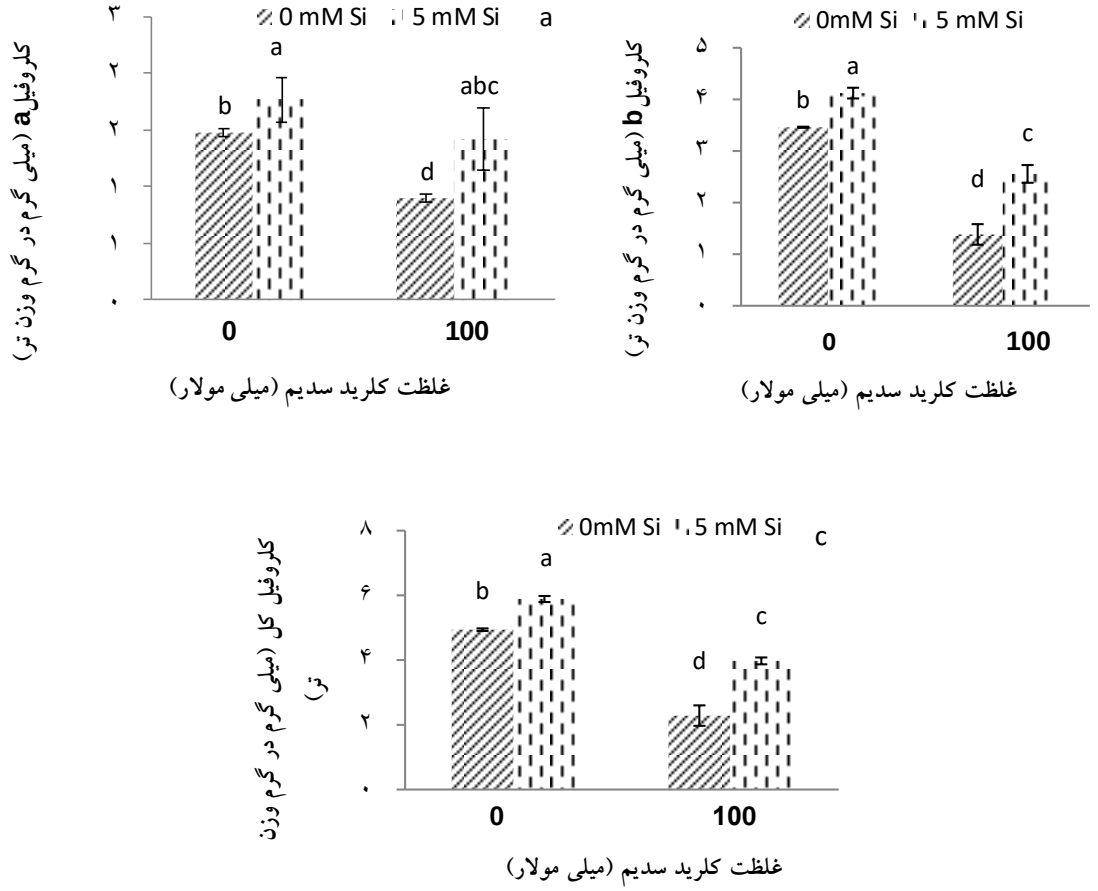
نتایج

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تنش شوری در سطح معنی داری سبب کاهش میزان کلروفیل‌های a، b و کل در گیاه کاملینا شد، درحالیکه تیمار سیلیس در سطح معنی‌داری سبب کاهش اثرات مضر شوری برآنها شد (جدول ۱). براساس نتایج مطالعه حاضر، میزان کلروفیل‌های a و b در گیاهان تیمار شده با ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به ترتیب ۴۰ درصد و ۶۰ درصد کمتر از گیاهان شاهد بود (شکل ۱-a و b). محلول‌پاشی گیاهان با سیلیس سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل‌های a و b به میزان مساوی و ۱۹ درصد بیشتر از گیاهان شاهد شد (شکل ۱-a و b). همچنین تیمار سیلیکات پتاسیم سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر روی میزان کلروفیل برگ‌ها شد (جدول ۱). میزان کلروفیل a در گیاهان تیمار شده با سیلیس توام با ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم تفاوت معنی‌داری با گیاه شاهد نشان نداد (شکل ۱-a). میزان کلروفیل b در گیاهان تحت تیمار سیلیس توام با کلرید سدیم ۲۶ درصد کمتر از گیاه شاهد بود (شکل ۱-b). میزان کلروفیل کل در پاسخ به تنش شوری در سطح ۵۴ درصد کاهش یافت، درحالی که در تنش شوری توام با سیلیس به میزان ۲۰ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱- c).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر تنش شوری و محلول‌پاشی سیلیکون بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه کاملینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a ($mg.g^{-1}FW$)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}FW$)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}FW$)	قند محلول ($mg.g^{-1}DW$)	پروتئین ($mg.g^{-1}FW$)	ظرفیت آنتی اکسیدانی ($\mu g.g^{-1}FW$)
تنش	۱	۰/ ۶۴*	۹/۹۵**	۱۵/۶۶**	۴۹۹۵/۵۵**	۴۸۴۴/۱۰**	۵۲۸۵/۲۸**
سیلیکون	۱	۰/۴۸*	۲/۵۳**	۵/۲۱**	۲۹۶۲۵/۱۷**	۲۵۳۵/۷۷^{ns}	۱۹۷۳/۶**
تنش × سیلیکون	۱	۰/۰۴^{ns}	۰/۱۹*	۰/۴۱*	۱۸۵۸۴/۲۱**	۱۹۳۱/۴۱^{ns}	۴۷۰/۲۵*
خطا کل	۸	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۹	۹۰/۶۱	۴۱/۷۸	۶۰/۵۱
ضریب تغییرات(٪)	-	۲۲/۷۹	۸/۴۹	۷/۰۷	۴/۷۱	۷/۲۰	۳/۶۸

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.



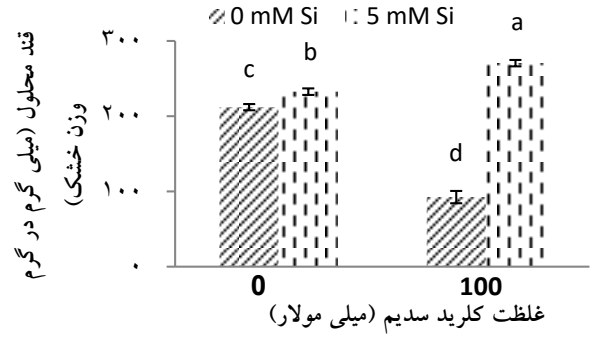
شکل ۱: مقدار کلروفیل a (a)، مقدار کلروفیل b (b) و مقدار کلروفیل کل (c) برگ کاملینا تحت تاثیر محلول پاشی سیلیکون ر و تنش شوری.

میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ: تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ شد، درحالیکه تیمار سیلیس توام با شوری سبب افزایش معنی دار آن شد (جدول ۲). میزان کربوهیدرات‌های برگ در پاسخ به تنش شوری ٤٦ درصد کمتر از گیاه شاهد بود (شکل ۲). در پاسخ به تیمار سیلیس بدون شوری میزان کربوهیدرات‌های برگ ۱۰ درصد بیشتر از گیاه شاهد بود. تنش شوری توام با سیلیس میزان کربوهیدرات‌ها را ۲۷ درصد بیشتر از گیاه افزایش داد. در شرایط تنش شوری در گیاه کاملینا میزان کربوهیدرات‌ها کاهش معنی‌داری نشان داد که می‌تواند حاصل کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه باشد، درحالیکه محلول پاشی سیلیس سبب افزایش معنی‌دار میزان کربوهیدرات‌ها در گیاهان تحت تنش شد.

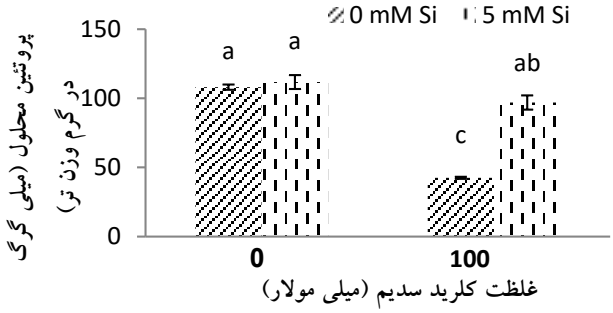
میزان پروتئین‌های برگ: بر اساس نتایج آنالیز واریانس، تنش شوری میزان پروتئین‌های برگ گیاه کاملینا را در سطح معنی‌داری کاهش داد، درحالیکه تیمار سیلیس سبب افزایش معنی‌دار آن شد (جدول ۲). با توجه به شکل ۳، میزان پروتئین‌های برگ در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلریدسدیم ٦۰ درصد کمتر از گیاه شاهد بود. بر اساس نتایج، میزان پروتئین‌های برگ در تیمار سیلیس بدون شوری تقریبا برابر گیاه شاهد بود. یکی از دلایل کاهش میزان پروتئین‌های گیاه کاملینا در پاسخ به تنش

شوری می‌تواند درنتیجه تنش اکسیداتیو ناشی از غلظت بالای یون‌ها باشد. در تیمار سیلیس توام با ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم میزان پروتئین‌های برگ تقریبا ۱۰ درصد کمتر از گیاه شاهد بود.

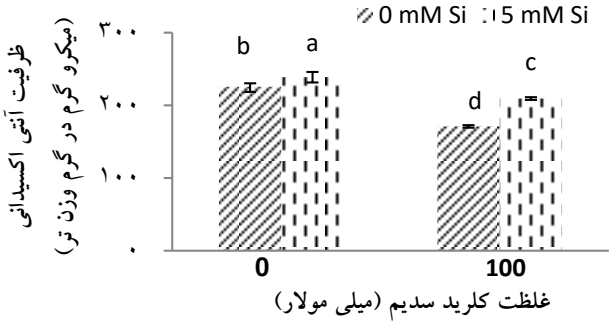
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل FRAP: نتایج اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی FRAP گیاه نشان داد که آبیاری گیاهان با کلریدسدیم سبب کاهش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی FRAP شد و تقریبا ۲۴ درصد کمتر از گیاه شاهد مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ٤). در پاسخ به تیمار سیلیس بدون شوری تفاوت معنی داری در میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی FRAP مشاهده نشد، درحالیکه در تنش شوری توام با تیمار سیلیس سبب کاهش ۹ درصد کمتر از گیاه شاهد شد (جدول ۲ و شکل ٤). تنش شوری سبب کاهش ظرفیت آنتی کسیدانی FRAP در گیاه کاملینا شد ولی در شوری توام با سیلیس افزایش معنی‌داری نشان داد.



شکل ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی سیلیکون بر مقدار قند محلول برگ‌های کاملینا.



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی سیلیکون بر پروتئین برگ‌های کاملینا



شکل ٤: مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی سیلیکون برظرفیت آنتی اکسیدانی (FRAP) برگ‌های کاملینا.

بحث

تنش شوری یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولید محصولات زراعی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (Kopittke et al., 2019). با توجه به افزایش بی‌رویه جمعیت بر روی کره زمین و افزایش نیاز روز افزون به منابع غذایی در سرتاسر جهان، نیاز استفاده از زمین‌های شور جهت کشاورزی افزایش یافته است (Ibrahimova et al., 2021). تنش اسمزی ناشی از شوری سبب کاهش تقسیم و رشد سلول‌ها، کوچک شدن سلول‌ها، ودر نتیجه کاهش سطح برگ گیاهان می‌شود که توام با کاهش میزان فتوسنتز، محصولات فتوسنتزی و در نتیجه رشد گیاهان است (Munns et al., 2006; Li et al., 2022). همچنین، با قرار گرفتن گیاه در معرض تنش شوری، میزان جذب آب به شدت کاهش می‌یابد، که این مسئله با کاهش سطح آب درون و برون‌سلولی گیاه توام می‌باشد و درنتیجه باعث کاهش فعالیت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌شود (Mudgal et al., 2010; Liu et al., 2019). تجمع نمک‌ها باعث کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل‌ها و آسیب به سیستم فتوسنتزی می‌شود که با نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر مطابقت دارد.

سیلیس یک عنصر غیرضروری و در عین‌حال مفید برای بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود که گزارشات متعدی مبنی بر نقش عنصر سیلیس در کاهش اثرات مضر تنش‌های شوری در گیاهان وجود دارد (Rizwan et al., 2015; Abdelaal et al., 2020; Hurtado et al., 2020). تیمار سیلیس سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر روی میزان کلروفیل‌ها در گیاه کاملینا شد که با گزارش Zhang و همکاران (۲۰۱۸b) در گیاه گوجه فرنگی مطابقت دارد. تیمار سیلیس می‌تواند از طریق کنترل سیستم انتقال الکترون در بین فتوسیستم‌ها و همچنین جلوگیری از تجمع ROS باافزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه سبب کاهش اثرات مضر تنش بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شود (Bukhat et al., 2020) که با نتایج مشاهده شده در مطالعه حاضر مطابقت دارد.

گیاهان در تنش‌های محیطی از قبیل شوری و خشکی با تجمع مواد تنظیم کننده اسمزی از قبیل قندها، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و برخی یون‌های معدنی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند (Behzadi Rad et al., 2021; Liu et al., 2000). تیمار سیلیس با افزایش میزان تجمع اسمولیت‌هایی مانند کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری می‌شود که با نتایج مشاهده شده در گیاه کاملینا تطابق دارد (Rizwan et al., 2015). انباشت پروتئین‌ها در گیاهان تحت شرایط تنش به تنظیم فشار اسمزی ناشی از افزایش یون‌های Na^+ و Cl^- کمک می‌کنند (Munns et al., 2016; Liu et al., 2000). میزان پروتئین‌های محلول در برگ گیاه کاملینا در پاسخ به تنش شوری کاهش معنی‌داری نشان داد، درحالیکه تیمار سیلیس سبب افزایش میزان پروتئین‌ها در پاسخ به تنش شوری شد که با گزارشات سایر محققان مطابقت دارد (Khan et al., 2013; Abbasi et al., 2016; Farhat et al., 2016).

تنش شوری با ایجاد اختلال در سیستم انتقال الکترون در فتوسیستم‌ها و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین سبب القاء تنفس نوری شده و با حرکت الکترون‌ها به سمت اکسیژن تولید آب‌اکسیژنه افزایش می‌یابد (Hasanuzzaman et al., 2021; Khan et al., 2013). تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن سبب آسیب اکسیداتیو به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Taïbi et al., 2016). افزایش میزان پروتئین‌ها می‌تواند به نقش آنها در تنظیم اسمزی در شرایط تنش شوری و همچنین افزایش فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدان مرتبط باشد (Hurtado et al.,

2020). در گیاهان تحت تنش، نه تنها آنتی اکسیدانت‌های آنزیمی، بلکه آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی نیز نقش مهمی در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایفا می‌کنند (Zhang et al., 2018a). گیاهانی که برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده در اثر تنش شوری، دارای سیستم آنتی‌اکسیدانتی با کارایی بالا هستند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده یا خنثی کنند و از تنش اکسیداتیو جلوگیری کنند (Taïbi et al., 2016). در اثرتیمار گیاه کاملینا با سیلیس مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی افزایش یافت که مانع از تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن و آسیب به سیستم فتوسنتزی و پروتئین‌های سلولی تحت تاثیر تنش شوری شد.

نتیجه گیری نهایی

نتایج مطالعه حاضر حاکی از اثرات مفید تیمار سیلیس در بهبود محتوی کلروفیل‌ها، بیوسنتز کربوهیدرات‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌ها، و پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش مقاومت گیاه کاملینا به تنش شوری بود. نتایج این تحقیق نشانگر نقش مفید سیلیس به عنوان یک ترکیب سازگار با محیط زیست به منظور افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری می‌باشد که زمینه را برای مطالعات بیشتر بر روی پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه تا دستیابی به یک نتیجه قطعی فراهم نمود.

References

Abbasi, H., Jamil, M., Haq, A., Ali, S., Ahmad, R. and Malik, Z. (2016). Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: a review. Zemdirbyste-Agriculture. 103, 229-238.

Abdelaal, K. A., Mazrou, Y. S. and Hafez, Y. M.(2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. Plants. 9, 733.

Amiri, A., Bagheri, A. A., Khajeh, M., Najafabadi, N. and Yadollahi, B. (2014). Effect of silicon foliar application on yield and antioxidant enzymes of safflower under drought stress. Journal of Crop Research. 9, 372-361. [In Persian with English summary].

Behzadi Rad, P., Roozban, M.R., Karimi, S., Ghahremani, R., and Vahdati, K. (2021). Osmolyte accumulation and sodium compartmentation has a key role in salinity tolerance of pistachios rootstocks. Agriculture, 11(8), 708.

Benzie, I. F. and Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical biochemistry. 239, 70-76.

Bradford, M .M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal, Biochem. 72(1-2). 248-254.

Bukhat, S., Manzoor, H., Athar, H.U.R., Zafar, Z.U., Azeem, F. and Rasoul, S. (2020). Salicylic acid induced photosynthetic adaptability *of* Raphanus sativus to salt stress is associated with antioxidant Capacity. Journal of Plant Growth Regulation. 39, 809–822.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.T. and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal, Chem. 28(3), 350-356.

Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdelly, C. and Rabhi, M. (2016). Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. Acta physiologiae plantarum. 38, 145.

Francki, M., Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N. and Francis, C. (2010). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as an alternative oilseed. molecular and ecogeographic analyses. Genome. 53 (7), 558-567.

Hajihashemi, S., Jahantigh, O. and Alboghobeish, S. (2022). The redox status of salinity-stressed *Chenopodium quinoa* under salicylic acid and sodium nitroprusside treatments. Frontiers in Plant Science, 13, 1-12.

Hajihashemi, S. and Kazemi, S. (2022). The potential of foliar application of nano-chitosan-encapsulated nano-silicon donor in amelioration the adverse effect of salinity in the wheat plant. BMC Plant Biology, 22(1), 1-15

Hasanuzzaman, M., Raihan, M., Hossain, R., Masud, A.A.C., Rahman, K., Nowroz, F., Mira R., Kamrun N. and Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. International Journal of Molecular Sciences, 22(17), 9326.

Heydarian, Z., Yu, M., Gruber, M., Coutu, C., Robinson, S.J. and Hegedus, D.D. (2018). Changes in gene expression in Camelina sativa roots and vegetative tissues in response to salinity stress. Scientific reports, 8(1), 1-22

Hurtado, A.C., Chiconato, D.A., Prado, R.D.M., Sousa Junior, G.D.S., Gratão, P.L., Felisberto, G. and Mathias dos Santos, D.M. (2020). Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. Ecotoxicology and Environmental Safety. 203, 110964-110975.

Ibrahimova, U., Kumar, P., Yadav, S., Rastogi, A., Antala, M., Suleymanova, Z., Zivcak, M., Arif, T., Hussain, S., Abdelhamid, M., Hajihashemi, Sh., Yang, X. and Brestic, M. (2021). Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. Journal of Biotechnology. 329, 180- 191.

Kahrizi, D. and Rostami - Ahmadvandi, H. (2015). The first report of biotechnological genetic modification of Camelina sativa and its cultivation in rainfed conditions. The first international conference and the ninth national conference on biotechnology of the Islamic Republic of Iran. Shahid Beheshti University International Conference Center. Tehran.

Kahrizi, D., Kazemi Tabar, S.K., Sorni, J., Rostami Ahmadvandi, H., Fallah, F., Akbarabadi, A., Rezaei, Z. and Bakhsham, M. (2016). Introduction of Camellina medicinal oil plant for dryland conditions in Iran. National Conference on the Impact of Climate Change on Crop Production. Sari, September of 2016.

Khalid, H., Kumari, M., Grover, A. and Nasim, M. (2015). Salinity stress tolerance of camelina investigated. Scientia Agriculturae Bohemica, 46(4), 137-144

Khan, M. I. R., Asgher, M., Iqbal, N. and Khan, N. A. (2013). Potentiality of sulphur-containing compounds in salt stress tolerance. In: Ecophysiology and responses of plants under salt stress. Springer, 443-472.

Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A. and Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. Environment International. 132, 105078.

Li, J., Liu, Y., Zhang, M., Xu, H., Ning, K., Wang, B., and Chen, M. (2022). Melatonin increases growth and salt tolerance of Limonium bicolor by improving photosynthetic and antioxidant capacity. BMC plant biology. 22(1), 1-14.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in enzymology. Elsevier, 350-382.

Linag, Y., Sun, W., Zhu, Y.G. and Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution. 147, 422-428.

Liu, B., Soundararajan, P. and Manivannan, A. (2019). Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. Plants. 8, 307.

Liu, Q., Zhang, Y. and Chen, S. (2000). Plant protein kinase genes induced by drought, high salt and cold stresses. Chinese Science Bulletin. 45, 1153-1157.

Mam, J.F. and Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science. 11, 1-6.

Momeni, A. (2010). Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. Soil Res. J. 24, 203-215. (In Persian with English abstract).

Mudgal, V., Madaan, N. and Mudgal, A. (2010). Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: a review. International Journal of Botany. 6, 136-143.

Mukhopadhyay, R., Binoy S., Hanuman S.J., Parbodh C.H., and Nanthi S.B. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. Journal of Environmental Management. 280: 111736.

Munns, R., James, R.A., Gilliham, M., Flowers, T.J. and Colmer, T.D. (2016). Tissue tolerance: an essential but elusive trait for salt-tolerant crops. Functional Plant Biology. 43, 1103-1113.

Munns, R., James, R.A. and Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of experimental botany. 57, 1025-1043.

Qureshi, A.S., Qadir, M., Heidari, N., Tural, H. and Javadi, A. (2007). A review of management strategies for salt prone land and water resources in Iran. Working Paper 125(Iran: national Water Management Institute). (In Persian).

Rastogi, A., Yadav, S., Hussain, S., Kataria, S., Hajihashemi, S., Kumari, P., Yang, X. and Brestic, M. (2021). Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants…?. Plant Physiology and Biochemistry, 169, 40-48

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F. and Abbas, F. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. Environmental Science and Pollution Research. 22, 15416-15431.

Shariati, Sh. and Ghazi-Shahnizadeh, P. (2000). Canola. Publications of the Ministry of Jihad for Agriculture.

Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhodja, M. and Mulet, J. M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in Phaseolus vulgaris L. South African Journal of Botany. 105, 306-312.

Zaman, M., Shahid, S.A. and Heng, L. (2018). Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer, 183p.

Zhang, W., Yu, X., Li, M., Lang, D., Zhang, X. and Xie, Z. (2018a). Silicon promotes growth and root yield of Glycyrrhiza uralensis under salt and drought stresses through enhancing osmotic adjustment and regulating antioxidant metabolism. Crop Protection. 107, 1-11.

Zhang, Y., Yu, S., Gong, H.J., Zhao, H.L., LI, H.L., Hu, Y.H. and Wang, Y.C. (2018b). Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. Journal of Integrative Agriculture. 17, 2151-2159.