

Research Article

Agricultural Engineering., 46(1) (2023) 21-41
DOI: 10.22055/AGEN.2023.43322.1661

ISSN (P): 2588-526X

ISSN (E): 2588-5944

The effect of silicon on improving the growth and biochemical characteristics of *Camelina* (*Camelina sativa* L.) seedlings under saline conditions

N.Teimoori¹, M. Ghobadi^{2*} and D. Kahrizi³

1. Ph.D. student, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: 7 April 2023 Accepted: 19 June 2023

Abstract

Introduction: Salinity stress reduces the yield of agricultural products. Water or soil salinity is caused by the increase in the concentration of soluble salts and minerals in water and soil, which leads to the accumulation of salt in the root area, to the extent that it prevents water absorption and optimal plant growth. In general, tolerance to salinity is important during all stages of plant growth. Seed germination is the first stage of plant growth. Salinity stress reduces the percentage and rate of seed germination and also seedling growth. Crop yield is quantitatively and qualitatively dependent on the percentage, rate and uniformity of seed germination and also seedling growth. In recent years, a lot of attention has been paid to silicon due to its effect in reducing plant damage against some environmental stresses (such as drought, heat, heavy metals, salinity, and etc.). The studies show that silicon protects the plant against environmental stresses by stimulating growth and increasing the antioxidant enzymes activity. It has also been reported that the silicon is effective in increasing the chlorophyll content, stomatal conductance, photosynthesis rate and the resistance of plants under stressful conditions. Silicon increases the plant tolerance to the salinity by improving photosynthetic activity, increasing the relative selection of K^+/Na^+ , increasing the soluble substances in the xylem, reducing sodium absorption, and mechanical protection against the toxicity of elements. Therefore, a research was carried out with the aim of investigating the effect of the silicon in increasing tolerance to salinity stress in camellia seedlings.

Materials and Methods: A laboratory experiment was carried out in 2021 at Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. The experiment laid out as a factorial based on a completely randomized design with three replications. The factors were camelina genotypes (Sohail cultivar and Line-84), salinity (four levels 0, -3, -6 and -9 bar) and silicon (five levels of 0, 2, 4, 6 and 8 mM). Salinity stress levels were prepared by different amounts of sodium chloride (NaCl) salt. Silicon factor levels were also prepared by different concentrations of sodium silicate (Na_2SiO_3). The experiment consisted of 120 petri dishes. Data analysis was done with MSTATC and SAS statistical software. Means were compared using Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$). Excel software was used to draw figures.



Results and Discussion: The results showed that with the increase in salinity intensity, the growth characteristics and the amount of soluble proteins of camellia seedlings decreased, but the activity of catalase, peroxidase and superoxide dismutase enzymes and the amount of malondialdehyde increased. The lowest activity of catalase was observed under non-salinity conditions (control). But the highest activity of catalase enzyme (104.4 $\mu\text{M}/\text{min. mg protein}$) belonged to the treatment of -9 bar salinity. The use of silicon increased the seedling growth, the amount of soluble proteins, the activity of antioxidant enzymes, and the amount of malondialdehyde in camelina seedlings. The highest germination rate (23.97 seeds/day) was obtained in the treatment of 8 mM silicon. With the increase in silicon concentration, the amount of soluble proteins increased, so that in the 2, 4, 6 and 8 mM treatments, compared to the control treatment, the amount of soluble protein increased by 4, 8, 10.75 and 10.9%, respectively. By increasing the concentration of silicon, the activity rate of catalase enzyme increased. The highest activity rate of peroxidase enzyme (35.38 $\mu\text{M}/\text{min. mg protein}$) was observed in 8 mM silicon, which was significantly different from other treatments. The lowest activity of peroxidase was related to the control treatment. Line-84 had 8.65% higher activity rate of superoxide dismutase than the Sohail cultivar. With increasing salinity stress and silicon concentration, the activity rate of superoxide dismutase increased. On average, in the treatments of 2, 4, 6 and 8 mM silicon, the activity rate of superoxide dismutase was increased 11, 27, 44 and 57%, respectively, compared to the control (without silicon). The highest amount of malondialdehyde (44.42 $\mu\text{M}/\text{g fresh weight}$) was observed in the treatment of 8 mM silicon.

Conclusion: The results of this experiment showed that the application of silicon, by increasing the activity of antioxidant enzymes, reduced the oxidative damage caused by reactive oxygen species and thus protected camellia seedlings against salt stress. In general, it seems that the use of silicon has been effective in reducing the adverse effects of salinity stress on growth and biochemical characteristics of camelina seedlings.

Key words: *Antioxidant, germination rate, oil crop, sodium chloride, sodium silicate*

تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط شوری

نسرین تیموری^۱، مختار قبادی^{۲*} و دانیال کهریزی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۸	در سال‌های اخیر، سیلیکون با اثر کاهش خسارت گیاهان در مقابل برخی تنش‌های محیطی، توجه محققین را به خود معطوف نموده است. کاملینا یک گیاه دانه روغنی از خانواده چلیپاییان است که از معرفی آن در ایران، کمتر از یک دهه می‌گذرد. از این رو، پژوهشی با هدف بررسی تأثیر سیلیکون در افزایش تحمل به تنش شوری گیاهچه کاملینا در آزمایشگاه بذر دانشگاه رازی به اجرا در آمد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ژنوتیپ کاملینا (رقم سهیل و لاین-۸۴)، شوری (چهار سطح صفر، ۳-، ۶- و ۹- بار) و سیلیکون (پنج سطح صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار) بودند. بنابراین، آزمایش شامل ۱۲۰ واحد آزمایشی بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت شوری، ویژگی‌های رشدی و میزان پروتئین‌های محلول گیاهچه کاهش یافتند اما در مقابل فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و میزان مالون‌دی‌آلدهید افزایش پیدا کردند. در شوری ۶- بار، استفاده از سیلیکون ۸ میلی‌مولار سبب افزایش درصد جوانه‌زنی بذر (۱۳/۹۵ درصد)، طول گیاهچه (۵۸/۸۲ درصد)، شاخص بنیه گیاهچه (۷۹/۸۰ درصد)، وزن خشک گیاهچه (۵۰ درصد) و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۶۷/۴۴ درصد) گردید. به طور کلی، به نظر می‌رسد که استفاده از سیلیکون غلظت‌های ۶ و ۸ میلی‌مولار در کاهش اثرات سوء تنش شوری بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه کاملینا مؤثر بوده است.
پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹	
کلمات کلیدی: آنتی اکسیدان، سرعت جوانه‌زنی، سیلیکات سدیم، کلرید سدیم، گیاه روغنی	
* عهده دار مکاتبات: Email: m.ghobadi@yahoo.com	

محصولات کشاورزی به شمار می‌روند. شوری آب یا خاک به دلیل افزایش غلظت نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی محلول در آب و خاک به وجود آمده که منجر به

مقدمه

در اکثر مناطق جهان، کمبود آب و شوری خاک از جمله مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان و تولید

گیاه دانه روغنی کاملینا که به خشکی و شوری خاک مقاومت نسبی دارد حائز اهمیت زیادی است (۷). اختلال در جوانه‌زنی بذر و استقرار ناکافی گیاهچه از معضله‌هایی است که گیاهان زراعی در مناطق واجد تنش شوری با آن مواجه هستند. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکون بر ویژگی‌های جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه کاملینا در شدت‌های مختلف تنش شوری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه بذر پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو ژنوتیپ کاملینا (رقم سهیل و لاین-۸۴)، شوری (در چهار سطح صفر، ۳-، ۶-، ۹- بار) و محلول سیلیکون (در پنج سطح صفر، ۲، ۴، ۶، ۸ میلی مولار) بودند. سیلیکون از منبع سیلیکات سدیم (شرکت سیگما، آمریکا، با جرم مولی ۱۲۲/۰۶ گرم بر مول) تأمین شد. سطوح شوری و سیلیکون بر اساس بررسی منابع و نتایج پژوهش‌های قبلی انتخاب شدند (۸، ۹ و ۱۰). برای به دست آوردن سطوح شوری، از نمک کلرید سدیم (با جرم مولی ۵۸/۴۴ گرم بر مول) با غلظت‌های صفر، ۷۶/۹۲، ۱۵۳/۸۴ و ۲۳۰/۷۷ میلی مولار که پتانسیل اسمزی آن‌ها تقریباً معادل صفر، ۳-، ۶- و ۹- بار بود استفاده شد.

تعداد ۱۲۰ پتری‌دیش برای آزمایش در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل ۵۰ عدد بذر بود که در داخل یک پتری‌دیش (به ابعاد ۹ سانتی متر) که حاوی یک عدد کاغذ صافی واتمن شماره یک بودند قرار داده شدند. ابتدا بذرها توسط هیپوکلریت سدیم به مدت ۶۰ ثانیه ضدعفونی و سپس سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. قبل از انجام آزمایش، پتری‌دیش‌ها نیز توسط هیپوکلریت سدیم استریل شدند. در هر پتری‌دیش، تعداد ۵۰ بذر روی کاغذ صافی توزیع گردید. میزان ۱۰ میلی‌لیتر محلول

تجمع نمک در ناحیه ریشه شده، به حدی که مانع جذب آب و رشد بهینه گیاه می‌شود (۱). تنش شوری باعث تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و نیز کاهش رشد گیاهچه می‌گردد (۱). به طور کلی تحمل به شوری در تمام مراحل زندگی گیاه اهمیت دارد. بدیهی است که اولین مرحله از چرخه زندگی گیاه، مرحله جوانه‌زنی است. از آنجا که عملکرد محصول از نظر کمی و کیفی به میزان و درصد سبز شدن بذر و همچنین یکنواختی آن وابسته می‌باشد، بنابراین مرحله جوانه‌زنی گیاه، مرحله حساس و مهمی است که می‌تواند با استقرار مطلوب گیاهچه‌ها در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نماید (۲). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری صورت گرفته است. از جمله این روش‌ها استفاده از سیلیکون می‌باشد. سیلیکون معمولاً به صورت آغشته کردن بذر (بذر مال) و یا محلول‌پاشی روی برگ استفاده می‌گردد. جذب سیلیکون می‌تواند رشد گیاه را در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی تسهیل کند (۳). مطالعات انجام شده نشان دهنده آن است که سیلیکون در بسیاری موارد با تحریک رشد، افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (۴). همچنین گزارش شده است سیلیکون در افزایش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، مواد فتوسنتزی و استحکام گیاهان تحت شرایط تنش‌زا مؤثر است (۵). به طور کلی سیلیکون از طریق بهبود فعالیت فتوسنتزی، افزایش انتخاب نسبی پتاسیم به سدیم، افزایش فعالیت آنزیم‌ها، افزایش مواد محلول در آوند چوبی، کاهش جذب سدیم توسط گیاه، حفاظت مکانیکی در برابر سمیت عناصر سنگین سبب مقاومت گیاه به تنش شوری می‌شود (۶).

کشور ایران با کاهش نزولات آسمانی، بحرانی شدن سطح آب‌های زیر زمینی و شور شدن خاک مواجه است. از طرفی، روغن خوراکی کشور عمدتاً (بیش از ۹۰ درصد) وارداتی است. به همین دلیل، انجام تحقیق روی

زده‌اند، D تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی، $\sum N$ تعداد کل بذرهاى جوانه زده می‌باشد.

$$MTG = [\sum(D \times N)] / \sum N \quad (۳)$$

طول گیاهچه: میانگین طول ده گیاهچه (طول ساقه‌چه + طول ریشه‌چه) پس از پایان روز دهم با استفاده از خط-کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد.

شاخص بنیه گیاهچه^۴ (SVI): شاخص بنیه گیاهچه از حاصلضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در طول گیاهچه به دست آمد (۱۷).

(۴) درصد جوانه زنی نهایی \times طول گیاهچه = شاخص بنیه بذر

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها و صفات بیوشیمیایی بعد از اتمام آزمایش نمونه‌های گیاهچه را در فویل آلومینیومی پیچیده و بعد از قرار دادن در ازت مایع به فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. از نمونه‌های تهیه شده در اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها و صفات بیوشیمیایی استفاده گردید. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها و صفات بیوشیمیایی در آزمایشگاه‌های فیزیولوژی گیاهان زراعی و بیوتکنولوژی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی انجام شد.

مالون دی‌آلدئید: برای اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید بر اساس روش Hodges^۵ گردید (۱۸). ابتدا ۰/۲۵ نمونه گیاهچه کاملینا در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر TCA^۵ ۰/۱ درصد پودر شد. عصاره حاصل به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور/دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۲۵۰ میکرولیتر از محلول رویی با ۱ میلی‌لیتر محلول مالون دی‌آلدئید که حاوی TCA ۲۰ درصد و تیو باربیتوریک اسید^۶ (TBA) ۰/۵ درصد بود، مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام بن‌ماری حرارت داده شد. سپس در یخ سرد شد و مجدداً

مورد نظر به هر ظرف افزوده شد و سپس به ژرminatور منتقل شده و در دمای 20 ± 1 درجه سانتی‌گراد (شب/روز) و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت ده روز نگهداری شدند (۱۱). شمارش بذرهاى جوانه زده به‌طور روزانه در ده روز متوالی یادداشت گردید. خروج ریشه چه به اندازه دو میلی‌متر به عنوان معیار جوانه‌زنی بذر در نظر گرفته شد (۱۲). در این آزمون، جهت برآورد وزن خشک گیاهچه، گیاهچه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند سپس با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد (۱۳).

همچنین با شمارش روزانه تعداد بذرهاى جوانه زده، برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی مرتبط با بنیه بذر و گیاهچه به شرح زیر محاسبه شدند:

درصد جوانه زنی^۱ (GP): شمارش بذرهاى جوانه زده به صورت روزانه در ساعت معین در ده روز انجام گرفت. درصد جوانه زنی از طریق تعداد بذرهاى جوانه‌زده در روز آخر (دهم) در نظر گرفته شد (۱۴).

(۱) $\times 100$ (تعداد کل بذرها / تعداد بذرهاى جوانه‌زده) = درصد جوانه‌زنی

سرعت جوانه زنی^۲ (GR): با استفاده از معادله (۲) سرعت جوانه زنی بر حسب تعداد بذر جوانه زده در روز محاسبه شد (۱۵). در این رابطه GR سرعت جوانه زنی، N_i تعداد بذور جوانه زده در هر روز، T_i تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش می‌باشد.

$$GR = \sum (N_i / T_i) \quad (۲)$$

متوسط زمان لازم برای جوانه زنی^۳ (MTG): برای تعیین متوسط زمان لازم برای جوانه زنی از معادله (۳) استفاده شد (۱۶). در این رابطه MTG متوسط زمان لازم برای جوانه زنی، N تعداد بذوری که در D روز جوانه

4- Seedling vigor index
5- Trichloroacetic acid
6- Thiobarbituric acid

1- Germination percentage
2- Germination rate
3- Mean time to germination

تیموری و همکاران: تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی ...

فعالیت پراکسیداز موجود در عصاره‌ها (میکرومول گایاکول در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین‌های محلول) از طریق معادله محاسبه شد (۱۹).
معادله (۶)

$$POX = \frac{[H_2O_2/t_{max}] \times KW}{Pro}$$

H_2O_2 غلظت پراکسید هیدروژن موجود در سوپسترا (برابر ۵۰۰۰ میکرومول)، t_{max} مدت زمان لازم برای تجزیه ۵۰۰۰ میکرومول پراکسید هیدروژن موجود در سوپسترا (ثانیه)، KW ضریب وزن برای تبدیل ۲۵۰ میلی‌گرم پودر نمونه گیاهیچه استفاده شده برای تهیه عصاره به یک گرم (برابر ۴) و Pro مقدار پروتئین‌های محلول موجود در نمونه (میلی‌گرم پروتئین‌های محلول در وزن تر گیاهیچه) است.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز^۳ (CAT): اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش سینها (۲۰) و بر اساس احیای دی‌کرومات پتاسیم محلول در اسید استیک به کرومیک استات و تشکیل پرکرومیک اسید سبز رنگ در حضور پراکسید هیدروژن و حرارت انجام شد (۲۰).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز موجود در عصاره، درون چهار عدد میکروتیوپ ۵۰۰ میکرولیتری، ابتدا ۱۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، سپس ۷/۵ میکرولیتر عصاره و بعد از آن ۷۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ریخته شد. به میکروتیوپ‌های سری اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب بعد از گذشت دو، چهار، شش و هشت دقیقه از زمان اضافه شدن پراکسید هیدروژن (زمان شروع واکنش)، ۶۲ میکرولیتر محلول دی‌کرومات اضافه شد. برای تهیه محلول دی‌کرومات، ۵۰۰ میلی‌گرم پودر دی‌کرومات پتاسیم به ۱۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳۷/۵ میلی‌لیتر اسید استیک اضافه شد. بعد از اضافه کردن محلول دی‌کرومات، میکروتیوپ‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در

مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور/دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از دستگاه الیزا با طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب سایر رنگیزه‌های غیر اختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از مقدار حاصل کسر شد. از معادله زیر برای محاسبه میزان مالون دی آلدئید استفاده شد:

معادله (۵)

$$MDA^1(\mu\text{molg}^{-1} \text{ FW}) = \frac{(A532 - A600) \times W}{116} \times 1000$$

A532 = جذب قرائت شده با دستگاه الیزا در طول موج ۵۳۲ نانومتر.
A600 = جذب قرائت شده با دستگاه الیزا در طول موج ۶۰۰ نانومتر.
W = وزن نمونه (۰/۲۵ گرم).

اندازه‌گیری سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای اندازه‌گیری سرعت فعالیت این آنزیم از روش چانس و ماهلی (۱۹) استفاده شد که در آن اندازه‌گیری بر اساس میزان اکسید شدن گایاکول توسط آنزیم پراکسیداز و تشکیل تراگایاکول انجام می‌گیرد.

آنزیم پراکسیداز برای تجزیه پراکسید هیدروژن از گایاکول به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کند و تراگایاکول تشکیل می‌شود. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز ابتدا سوپسترا تهیه شد. سوپسترای آنزیم پراکسیداز شامل ۱۳ میلی‌مولار گایاکول، ۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=۷) بود.

۲۰۰ میکرولیتر سوپسترای آنزیم پراکسیداز^۲ (POX) درون چاهک‌های میکروپلیت ریخته شد. سپس ۶/۶ میکرولیتر عصاره به سوپسترا اضافه شد.

به مدت ۱۵ دقیقه با فواصل ۳۰ ثانیه‌ای در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) جذب آن خوانده شد. پس از پایان اندازه‌گیری

1- Malondialdehyde

2- Peroxidase

3- Catalase

رادیکال سوپر اکسید تولید می‌شود. این رادیکال، نیتروبلو تترازولیوم را احیا می‌کند. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با غیرفعال کردن رادیکال سوپراکسید از این واکنش جلوگیری می‌کند. مقداری از آنزیم که بتواند از احیای ۵۰ درصد نیترو بلو تترازولیوم ممانعت کند، معادل یک واحد آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نظر گرفته می‌شود. سوسترای آنزیم شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیترو بلو تترازولیوم و ۱۰۰ میکرومولار EDTA^۲ است. برای اندازه‌گیری ابتدا در تاریکی به چهار چاهک میکروپلیت ۱۹۵، ۱۹۰، ۱۸۵ و ۱۸۰ میکرولیتر از سوستر ریخته شد. در مرحله بعد به این چاهک‌ها به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میکرولیتر عصاره اضافه شد که هر کدام به حجم نهایی ۲۰۰ میکرولیتر رسید. در تاریکی به تمام چاهک‌ها ۱۰ میکرولیتر محلول ریوفلاوین اضافه شد. محلول ریوفلاوین شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات و دو میکرومولار ریوفلاوین است. یک چاهک حاوی ۲۰۰ میکرولیتر سوستر و ۱۰ میکرولیتر محلول ریوفلاوین به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

سپس میکروپلیت در دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) قرار داده شد و میزان جذب نوری آن در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد. سپس میکروپلیت به مدت ۳۰ دقیقه در زیر نور لامپ فلورسنت قرار گرفت. برای بار دوم شدت جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در پایان از بین چهار غلظت عصاره موجود در چاهک‌ها دو غلظت انتخاب و با استفاده از معادله فعالیت سوپراکسید دیسموتاز موجود در عصاره‌ها (واحد بر میلی‌گرم پروتئین‌های محلول) محاسبه شد (۲۱).

معادله (۸)

$$SOD = \frac{\left[\frac{(\Delta A_I \times 20 / C_I)}{\Delta A_{\text{blank}}/2} \times K_W \right] + \left[\frac{(\Delta A_{II} \times 20 / C_{II})}{\Delta A_{\text{blank}}/2} \times K_W \right]}{2 \text{ Pro}}$$

حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از تغییر رنگ محلول ۲۰۰ میکرولیتر از محلول‌های موجود در میکروتیوپ‌ها درون چاهک‌های میکروپلیت ریخته شد با استفاده از دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۵۷۰ نانومتر قرائت شد.

به منظور تعیین مقدار پراکسید هیدروژن تجزیه شده توسط آنزیم کاتالاز، منحنی استاندارد با غلظت‌های ۱۵، ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن رسم شد. با استفاده از معادله رگرسیون منحنی استاندارد و شدت جذب اندازه‌گیری شده در طول موج ۵۷۰ نانومتر، میزان پراکسید هیدروژن تجزیه شده تعیین شد. از بین چهار عدد به دست آمده (مربوط به چهار زمان دوره‌ای اضافه کردن محلول دی‌کرومات) دو عدد انتخاب شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده بر ثانیه در میلی‌گرم پروتئین‌های محلول) محاسبه شد. معادله (۷)

$$CAT = \frac{\left[\frac{H_2O_{2I} - H_2O_{2II}}{t_{II} - t_I} \right] \times K_W}{\text{Pro}}$$

تفاوت بین غلظت پراکسید هیدروژن H₂O_{2I} - H₂O_{2II} تجزیه شده در زمان‌های دوره‌ای انتخاب شده (میکرومول)، فاصله زمانی بین زمان‌های دوره‌ای انتخاب شده (ثانیه)، K_W ضریب وزن برای تبدیل ۲۵۰ میلی‌گرم پودر نمونه گیاهیچه استفاده شده برای تهیه عصاره به یک گرم (برابر ۴) و Pro مقدار پروتئین‌های محلول موجود در برگ (میلی‌گرم پروتئین‌های محلول در وزن تر گیاهیچه) است.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس توانایی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در متوقف کردن احیای فتوشیمیایی نیتروبلو تترازولیوم^۱ توسط رادیکال‌های سوپر اکسید، حاصل از تخریب نوری ریوفلاوین، می‌باشد. به این ترتیب که در اثر برخورد نور، ریوفلاوین تخریب و

2- Ethylenediaminetetraacetic acid

1- Nitro-blue tetrazolium

تیموری و همکاران: تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی ...

تهیه محلول‌های با غلظت ۵۰، ۲۵ و ۱۲/۵ پی‌پی‌ام استفاده گردید. از بافر استخراج نیز به عنوان شاهد با غلظت صفر استفاده شد. در مرحله بعد، ۲۰ میکرولیتر از هر غلظت استاندارد با ۵ میلی‌لیتر معرف کوماسی برلیانت بلو مخلوط و به مدت ۲ دقیقه ورتکس شد و بعد از ۵ دقیقه با استفاده از دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) میزان جذب نوری آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید. سپس با توجه به مقدار جذب نور توسط محلول‌ها با غلظت‌های مختلف پروتئین‌های محلول، منحنی استاندارد رسم گردید و در نهایت با استفاده از نمودار منحنی استاندارد محتوای پروتئین‌های محلول (میلی‌گرم در وزن تر گیاهچه) برآورد شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزارهای آماری MSTATC و SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه زنی بذر: تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) تنش شوری، سیلیکون و تأثیر معنی‌دار ($P < 0.05$) اثر متقابل ژنوتیپ × تنش شوری و تنش شوری × سیلیکون بر درصد جوانه‌زنی بذر کاملینا بود (جدول ۱).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین تنش شوری × ژنوتیپ کاملینا، بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر در تیمار بدون شوری در ژنوتیپ سهیل با مقدار ۹۹/۶ درصد مشاهده شد هرچند این مقدار با تیمار بدون شوری در لاین ۸۴- با مقدار ۹۹/۴۷ اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین درصد جوانه زنی هم مربوط به تیمار تحت تنش شوری ۹- بار در لاین ۸۴- به مقدار ۵۹/۸۷ درصد بود. با افزایش شدت تنش شوری، درصد جوانه‌زنی بذر کاهش پیدا کرد. به‌طور میانگین در تیمارهای ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب ۶، ۲۲ و ۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد، درصد جوانه‌زنی بذر کاهش

ΔA_I و ΔA_{II} ؛ تفاوت بین شدت جذب قرائت دوم و اول در دو چاهک انتخاب شده، ΔA_{blank} تفاوت بین شدت جذب قرائت دوم و اول در چاهک شاهد، C_I و C_{II} غلظت‌های عصاره موجود در چاهک‌های انتخابی (میکرولیتر)، K_w ضریب وزن برای تبدیل ۲۵۰ میلی‌گرم پودر نمونه گیاهچه استفاده شده برای تهیه عصاره به یک گرم (برابر ۴) و Pro مقدار پروتئین‌های محلول موجود در نمونه گیاهچه (میلی‌گرم پروتئین‌های محلول در وزن تر گیاهچه) است.

اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول: اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول بر اساس اتصال رنگ کوماسی برلیانت بلو^۱ -G250 موجود در معرف به مولکول پروتئین است. برای تهیه معرف، ۱۰ میلی‌گرم کوماسی برلیانت بلو در پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد با همزن مغناطیسی در تاریکی حل شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد قطره قطره به مخلوط فوق اضافه و با آب مقطر حجم نهایی محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. برای تعیین غلظت پروتئین از روش برادفورد (۲۲) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری ۲۰۰ میکرولیتر از معرف به چاهک میکروپلیت^۲ ریخته شد. چهار میکرولیتر عصاره به چاهک اضافه و در محیط آزمایشگاه نگهداری شد. بعد از ۲۰ دقیقه و قرار دادن آن داخل دستگاه الیزا (Bio Tek Powerwave XS2) شدت جذب نوری آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت و از بافر استخراج به‌عنوان شاهد استفاده شد.

میزان پروتئین‌های محلول با توجه به جذب نمونه و با استفاده از معادله رگرسیون منحنی استاندارد به دست آمد. جهت رسم منحنی استاندارد از سرم آلبومین گاوی استفاده شد. برای تهیه این منحنی، ابتدا ۱۰ میلی‌گرم سرم آلبومین گاوی در ۱۰ میلی‌لیتر بافر استخراج حل شد. این محلول به عنوان محلول ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شد. و از آن برای

1- Coomassie brilliant blue G-250
2. Microplate

است با افزایش سطوح شوری، شاخص‌های رشدی زیره سبز کاهش پیدا کردند که علت ایجاد چنین کاهش اثرات مضر شوری، مثل سمیت یون‌ها، اثر خشکی فیزیولوژیک و تجمع املاح در گیاه می‌باشد (۲۶). در بررسی اثر مقادیر مختلف کلرید سدیم بر چهار لاین کاملینا گزارش شد که تنش شدید اسمزی به دلیل افزایش املاح و ایجاد سمیت یون‌ها باعث کاهش عملکرد در لاین‌های مختلف گیاه شده است و حد آستانه شوری را ۳ دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند (۲۷). به‌طور کلی کاهش جوانه‌زنی در محیط‌های شور می‌تواند به دو دلیل ایجاد شود یکی کاهش جذب موثر در اثر به هم خوردن تعادل اسمزی که تنش آبی را برای گیاه ایجاد می‌کند و دیگری ایجاد سمیت یونی که به واسطه جذب و تجمع یون‌ها است (۲۸).

متوسط زمان لازم برای جوانه زنی بذر: تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P < 0.01$) اثرهای تنش شوری، سیلیکون و اثر متقابل ژنوتیپ × تنش شوری بر متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر کاملینا بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ × تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین متوسط زمان لازم برای جوانه زنی در شوری ۹- بار ژنوتیپ سهیل و لاین-۸۴ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند. کم‌ترین مقدار این صفت هم مربوط به تیمار شاهد ارقام سهیل و لاین-۸۴ بود. با افزایش شدت تنش شوری، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش پیدا کرد. به‌طور میانگین در تیمارهای شوری ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب ۲۰، ۵۸ و ۶۹ درصد نسبت به تیمار شاهد متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر افزایش یافت (شکل ۳).

یافت (شکل ۱). رضایی و علینژاد با انجام آزمایشی، تأثیر تنش شوری بر جوانه زنی بذرهای گیاه زیره سبز (۲۳) و دشتی و همکاران^۱ با انجام آزمایشی مشابه بر روی بذرهای گیاه دارویی ختمی (۲۴) نشان دادند که با افزایش شدت شوری، جوانه زنی بذرها کاهش یافت که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت. کاهش جوانه-زنی بذر تحت تنش شوری می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم کلرید سدیم بر روی رشد جنین باشد که با اثرات سمی یون‌های سدیم و کلر، جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × سیلیکون بر درصد جوانه‌زنی بذر نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی با استفاده از محلول ۲ میلی‌مولار سیلیکون و تیمار بدون تنش شوری به مقدار ۱۰۰ درصد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای بدون تنش شوری در سیلیکون صفر، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار و تیمار شوری ۳- بار و سیلیکون ۶ و ۸ میلی‌مولار نداشت. کم‌ترین مقدار درصد جوانه‌زنی نیز مربوط به تیمار شوری ۹- بار بدون محلول سیلیکون به مقدار ۴۵/۶۷ درصد بود که با تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار استفاده شده در تنش شوری ۹- بار اختلاف معنی‌داری نداشت. به‌طور میانگین در غلظت‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار سیلیکون به ترتیب درصد جوانه‌زنی ۲، ۵، ۸/۴۸ و ۷/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۲). در تیمار بدون محلول سیلیکون تحت تنش شوری ۹- بار درصد کاهش جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول سیلیکون، بدون تنش شوری) ۵۳ درصد بود. درحالی‌که در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار سیلیکون بدون تنش شوری نسبت به تیمار تنش شوری ۹- بار همان تیمارها درصد کاهش جوانه‌زنی بذور به ترتیب ۵۲، ۵۲/۱۵، ۵۰/۵ و ۵۱/۸۴ بود. با توجه به این نتایج می‌توان بیان نمود که سیلیکون می‌تواند باعث کاهش اثرات تنش شوری در جوانه‌زنی بذور ژنوتیپ کاملینا شود (شکل ۲). گزارش شده

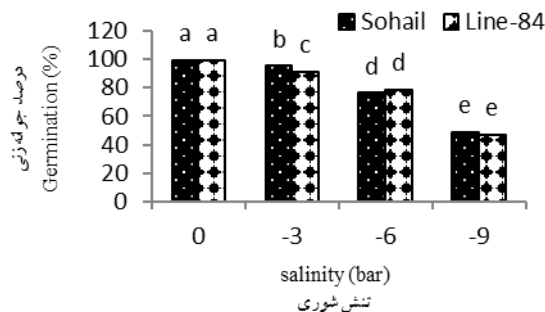
تیموری و همکاران: تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی ...

جدول (۱) تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرهای ژنوتیپ، شوری و سیلیکون از نظر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و گیاهچه کاملینا
Table (1) Analysis of variance (mean squares) of the effects of genotype, salinity and silicon in terms of the seed germination and seedling characteristics in camelina.

وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index	طول گیاهچه Seedling length	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی Mean time to germination	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Sources of variations
0.016 ^{ns}	575 ^{ns}	0.049 ^{ns}	10.238*	0.010 ^{ns}	34.1 ^{ns}	1	ژنوتیپ (G) Genotype (G)
3.624**	561442**	46.7**	2915.6**	12.7**	15964**	3	شوری (S) Salinity (S)
0.019*	47.1 ^{ns}	0.027 ^{ns}	1.84 ^{ns}	0.025**	59.9*	3	G×S
0.766**	78983**	7.68**	23.7**	0.141**	183**	4	سیلیکون (Si) Silicon (Si)
0.016 ^{ns}	23.8 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.699 ^{ns}	0.00025 ^{ns}	15.1 ^{ns}	4	Si×G
0.121**	16456**	1.47**	1.87 ^{ns}	0.003 ^{ns}	37.9*	12	Si×S
0.006 ^{ns}	177 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.658 ^{ns}	0.001 ^{ns}	11.6 ^{ns}	12	G×S×Si
0.007	472	0.048	1.687	0.003	18.03	80	خطا Error
9.46	12.38	11.35	5.66	2.12	5.34		CV (%)

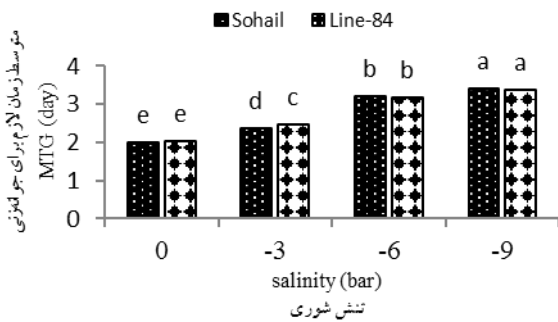
ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: non- significant, significant at the 5 and 1% level of probability, respectively.



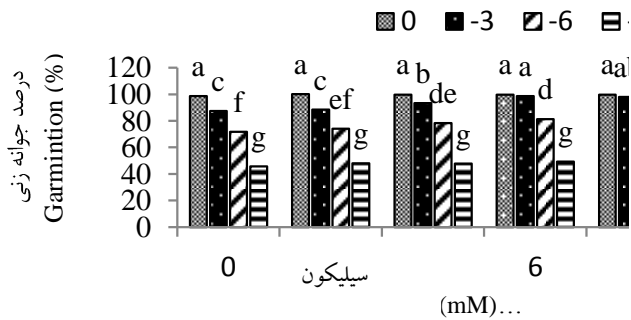
شکل (۱) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × ژنوتیپ کاملینا از نظر درصد جوانه‌زنی بذر ($P \leq 0.05$)

Figure (1) Mean comparison of salinity × camelina genotype interaction in terms of seed germination percentage ($P \leq 0.05$)



شکل (۳) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × ژنوتیپ کاملینا از نظر متوسط زمان لازم برای جوانه زنی بذر (MTG) ($P \leq 0.05$)
Figure (3) Mean comparison of salinity × camelina genotype interaction in terms of mean time to seed germination ($P \leq 0.05$)

سرعت جوانه زنی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی دار ($P < 0.01$) ژنوتیپ، تنش شوری و سیلیکون بر سرعت جوانه زنی بذر کاملینا بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری نشان داد که بیشترین سرعت جوانه زنی در تیمار شاهد (بدون تنش شوری) به مقدار ۳۳/۹۱ مشاهده شد که دارای اختلاف معنی داری با سایر تیمارها بود. کمترین سرعت جوانه زنی هم در تیمار شوری ۹- بار به مقدار ۱۱/۲۶ مشاهده شد. با افزایش شدت تنش شوری سرعت جوانه زنی کاهش پیدا کرد به طوری که در تیمارهای ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب ۱۹، ۴۳/۵ و ۶۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۵). تنش شوری از طریق کاهش سرعت جذب آب در نتیجه اثر اسمزی و با افزایش خروج یون‌ها، با تغییر فعالیت‌های هورمونی و آنزیمی، سرعت جوانه زنی بذرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۲). طبق گزارش (۳۳)، اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به آرامی صورت بگیرد فعالیت‌های متابولیکی جوانه زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهد شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه زنی کاهش می‌یابد (۳۲). یوهانس و همکاران^۳ (۳۴)، با بررسی اثر شوری حاصل از شش سطح (۰،



شکل (۲) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × سیلیکون از نظر درصد جوانه زنی بذر کاملینا ($P \leq 0.05$)
Figure (2) Mean comparison of salinity × silicon interaction in terms of seed germination percentage in camelina ($P \leq 0.05$)

نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف سیلیکون بر متوسط زمان لازم برای جوانه زنی بذر نشان داد که بیشترین مقدار این صفت در تیمار شاهد (بدون سیلیکون) به مقدار ۲/۸۵ مشاهده شد. کمترین مقدار این صفت هم مربوط به تیمار ۸ میلی مولار سیلیکون بود. با افزایش غلظت سیلیکون، متوسط زمان لازم برای جوانه زنی بذر کاهش یافت. به طور میانگین در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی مولار سیلیکون نسبت به تیمار شاهد (بدون سیلیکون) متوسط زمان لازم برای جوانه زنی بذور به ترتیب ۱/۵، ۳/۲، ۵/۵ و ۶/۶۵ درصد کاهش یافت (شکل ۴). اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به کندی صورت گیرد فعالیت‌های متابولیکی جوانه زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهد شد، در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه و مدت زمان جوانه زدن بذرها افزایش می‌یابد (۲۹). علیرضایی نقندر و همکاران^۱ (۳۰) گزارش کردند که با افزایش شدت شوری در گیاه ریحان دارویی میانگین زمان لازم برای جوانه زنی افزایش می‌یابد (۳۰). حقیقی و همکاران^۲ (۳۱)، گزارش کردند که مصرف سیلیکون با غلظت یک و دو میلی مولار در گیاه گوجه فرنگی در تیمار شاهد و شوری ۲۵ میلی مولار درصد جوانه زنی را افزایش داد (۳۱).

1- Alirezaei Naqander et al.
 2- Haghghi et al.

3- Yohannes et al.

شوری توسط محققانی همچون صفرنژاد و همکاران (۲۸) در گیاه دارویی سیاه دانه^۲، سلامی و همکاران^۳ (۳۶) بر روی گیاه سنبل الطیب^۴ زیره سبز^۵، زهتاب سلماسی و همکاران^۶ (۳۷) بر روی گیاه دارویی بابونه^۷ گزارش شده است. هانگ و همکاران^۸ (۳۸) گزارش کردند که شوری (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر)، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه در گیاه کاملینا را کاهش داد (۳۹).

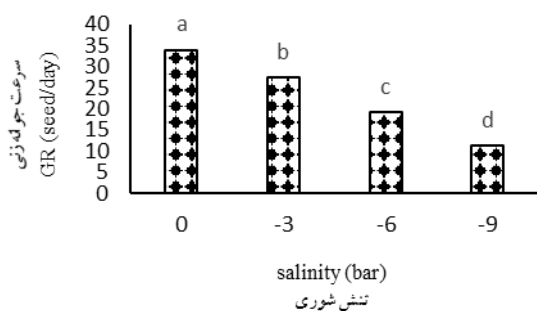
شاخص بینه گیاهچه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شوری، سیلیکون و اثر متقابل شوری \times سیلیکون بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری \times سیلیکون نشان داد که بیش‌ترین شاخص بینه گیاهچه در محلول ۸ میلی‌مولار سیلیکون در تیمار شاهد (بدون تنش شوری) به مقدار ۴۳۶/۴ مشاهده شد. کم‌ترین شاخص بینه گیاهچه هم مربوط به تیمار شوری ۹- بار و بدون سیلیکون بود که با تیمارهای شوری ۹- بار در غلظت‌های سیلیکون ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش شدت تنش شوری، شاخص بینه گیاهچه کاهش یافت. به طوری که در تیمارهای شوری ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب شاخص بینه گیاهچه ۲۷، ۶۸ و ۹۳ درصد کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش غلظت سیلیکون، افزایش شاخص بینه گیاهچه رخ داد. به طور میانگین در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار سیلیکون نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول سیلیکون) شاخص بینه گیاهچه به ترتیب ۱۴، ۵۶، ۱۰۲ و ۱۱۶ درصد افزایش یافت (شکل ۸). علیرضایی نقندر و همکاران (۳۰)، گزارش کردند که با افزایش شدت شوری در ریحان، شاخص بینه گیاهچه کاهش یافت. به طوری که در میان سطوح شوری، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب در شوری صفر (۴۹/۸۱) و ۲۰۰ میلی‌مولار (۲/۹۶) گزارش شد (۳۰).

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گرم بر لیتر کلرید سدیم و کلرید پتاسیم) بر کاملینا نشان دادند که افزایش شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شرایط عدم تنش سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در این گیاه شد (۳۴).

نتایج مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر سرعت جوانه‌زنی نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار سیلیکون ۸ میلی‌مولار (۲۳/۹۷) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۶ میلی‌مولار (۲۳/۷۱) نداشت. کم‌ترین مقدار سرعت جوانه‌زنی هم مربوط به تیمار شاهد به مقدار ۲۱/۵۴ بود. با افزایش غلظت سیلیکون، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. به طور میانگین در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار سیلیکون نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول سیلیکون) سرعت جوانه‌زنی بذور به ترتیب ۳/۸۵، ۷/۲۵، ۱۰ و ۱۱/۳ درصد افزایش یافت (شکل ۶). وانگ و همکاران^۱ (۳۲)، گزارش کردند که مصرف سیلیکون در گیاه *Momordica charantia* L. به‌طور معنی‌داری باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش شوری گردید (۳۵).

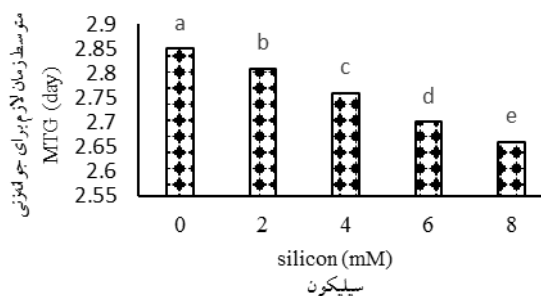
طول گیاهچه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر-های ساده شوری، سیلیکون و اثر متقابل شوری \times سیلیکون معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۱). بیش‌ترین طول گیاهچه در محلول سیلیکون ۸ میلی‌مولار و تیمار شاهد (بدون تنش شوری) به مقدار ۴/۳۸ سانتی‌متر مشاهده شد. کم‌ترین طول گیاهچه هم مربوط به تیمار شوری ۹- بار بدون سیلیکون بود که با تیمارهای شوری ۹- بار در محلول‌های سیلیکون ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت. با افزایش شدت تنش شوری و کاهش غلظت سیلیکون، طول گیاهچه در ژنوتیپ کاملینا کاهش یافت. به طوری که در تیمارهای شوری ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب طول گیاهچه ۲۳، ۵۹ و ۸۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. هم‌چنین به طور میانگین با افزایش غلظت سیلیکون در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد (بدون سیلیکون) طول گیاهچه به ترتیب ۱۲، ۴۹، ۸۶ و ۹۹ درصد افزایش یافت (شکل ۷). کاهش طول گیاهچه با افزایش سطوح

2- *Nigella sativa*3- *Salami et al.*4- *Valeriana officinalis*5- *Cuminum cyminum*6- *Zehtab-Salmasi et al.*7- *Matricaria chamomilla*8- *Huang et al.*1- *Huang et al.*



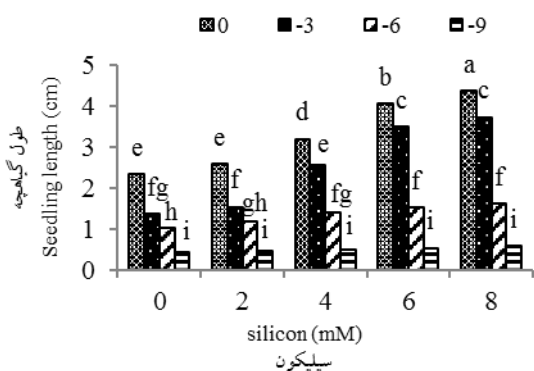
شکل (۵) مقایسه میانگین سطوح شوری از نظر سرعت جوانه زنی (GR) بذر کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (5) Mean comparison of salinity levels in terms of the seed germination rate in camelina ($P \leq 0.05$)



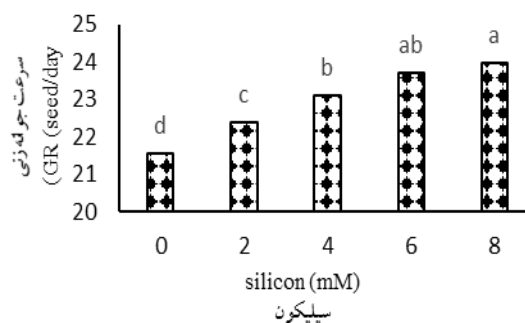
شکل (۴) مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر متوسط زمان لازم برای جوانه زنی بذر کاملینا (MTG) ($P \leq 0.05$)

Figure (4) Mean comparison of silicon levels in terms of mean time to seed germination in camelina ($P \leq 0.05$)



شکل (۷) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری x سیلیکون از نظر طول گیاهچه کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (7) Mean comparison of salinity x silicon interaction in terms of seedling length in camelina ($P \leq 0.05$)



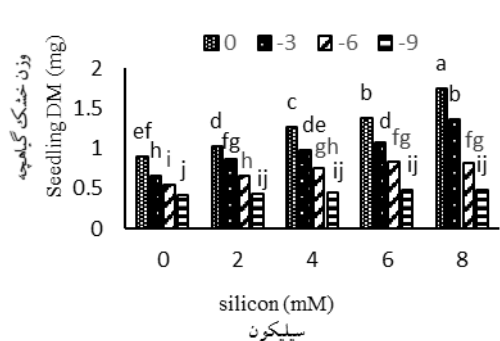
شکل (۶) مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر سرعت جوانه زنی بذر کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (6) Mean comparison of silicon levels in terms of the seed germination rate in camelina ($P \leq 0.05$)

غلظت محلول سیلیکون، وزن خشک گیاهچه ژنوتیپ‌های کاملینا کاهش یافت (شکل ۹). کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با افزایش شوری امری طبیعی بوده که توسط سلامی و همکاران (۳۶) و یزدانی بیوکی و همکاران^۱ (۳۹) نیز گزارش شده است. کاهش پتانسیل اسمزی و اثر سمیت یون-ها با افزایش شدت شوری، فرایند رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را دچار اختلال کرد. به طوری که طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح پتانسیل ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۸۹ درصد و ۸۶ درصد کاهش یافت (۴۰).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده تنش شوری، سیلیکون، و اثر متقابل تنش شوری x سیلیکون بر روی وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال ($P < 0.01$) معنی‌دار بودند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش شوری x محلول سیلیکون بر وزن خشک گیاهچه نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه در محلول سیلیکون ۸ میلی-مولار بدون تنش شوری به مقدار ۱/۷۴ گرم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کم‌ترین وزن خشک گیاهچه هم مربوط به تیمار تنش شوری ۹-بار بدون محلول سیلیکون بود. با افزایش شدت تنش شوری و کاهش

تیموری و همکاران: تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی ...

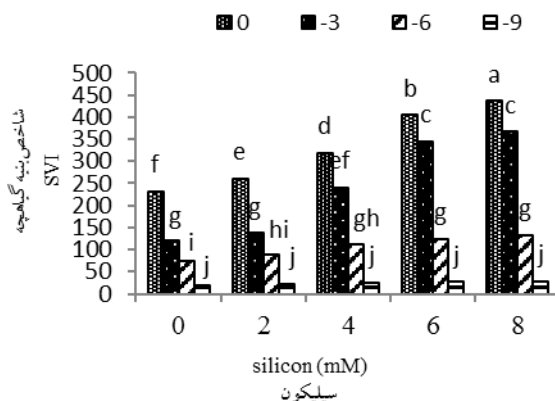


شکل (۹) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × سیلیکون از نظر وزن خشک گیاهچه (seedling DW) ($P \leq 0.05$)
Figure (9) Mean comparison of salinity × silicon in terms of seedling dry weight ($P \leq 0.05$)

های فعال اکسیژن توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز حذف یا غیر فعال می‌شوند (۴۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر محلول سیلیکون بر سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان داد که بیش‌ترین سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز در محلول ۸ میلی‌مولار به مقدار ۳۵/۳۸ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کم‌ترین مقدار پراکسیداز (۲۸/۷۲ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) نیز مربوط به تیمار شاهد (بدون محلول سیلیکون) بود. با افزایش غلظت محلول سیلیکون، سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت (شکل ۱۱).

سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) تنش شوری و سیلیکون بر سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار تنش شوری ۹- بار (به مقدار ۱۰۴/۴ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) مشاهده شد. کم‌ترین مقدار کاتالاز هم مربوط به تیمار بدون تنش شوری (شاهد) مشاهده گردید. با افزایش شدت تنش، سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش پیدا کرد به طوری که در تنش شوری ۳-



شکل (۸) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × سیلیکون از نظر شاخص بینه (SVI) گیاهچه کاملینا ($P \leq 0.05$)
Figure (8) Mean comparison of salinity × silicon interaction in terms of seeding vigor index in camelina ($P \leq 0.05$)

سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز: تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شوری، سیلیکون و اثرهای متقابل ژنوتیپ × شوری بر سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ × شوری، بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار شوری ۹- بار لاین ۸۴- با مقدار ۵۷/۴۸ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین مشاهده شد که با رقم سهیل تحت تنش شوری ۹- بار (۵۷/۲۹ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش شوری) لاین- ۸۴ (به مقدار ۱۸/۱ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) بود. با افزایش شدت تنش شوری، سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش پیدا کرد به طوری که به صورت میانگین در تیمارهای شوری ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب ۲۰، ۷۲ و ۲۰۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۱۰). تنش شوری تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را القا می‌کند که در غلظت‌های زیاد برای سلول زیان‌آور است. تولید این ترکیبات نظیر گونه سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و هیدروکسیل سبب تخریب غشاهای سلولی می‌شود. این گونه-

است و فعالیت این آنزیم‌ها بسته به گونه گیاهی و شدت تنش تغییر می‌کند (۴۲). تنش شوری سبب افزایش چشمگیر فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه ذرت شد (۴۳).

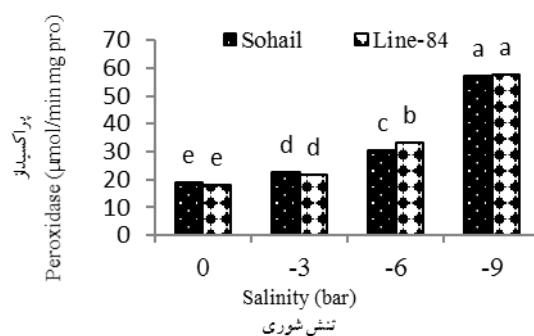
۶- و ۹- بار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶، ۷۳ و ۱۰۰ درصد سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش پیدا کرد (شکل ۱۲). شوری همانند دیگر تنش‌های محیطی می‌تواند سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و به دنبال آن خسارت اکسیداتیو در گیاهان شود. گیاهان برای مقابله و کاهش آثار گونه‌های آزاد، از یک سیستم آنزیمی پیچیده استفاده می‌کنند که شامل آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

جدول (۲) تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرهای ژنوتیپ، شوری و سیلیکون از نظر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه کاملینا
Table (2) Analysis of variance (mean squares) of the effects of genotype, salinity and silicon in terms of the seedling biochemical characteristics in camelina

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	فعالیت آنزیم پراکسیداز Peroxidase activity	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase activity	پروتئین‌های محلول Soluble proteins	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	1	2.192 ^{ns}	14.34 ^{ns}	0.705 ^{**}	0.304 ^{ns}	192 ^{**}
شوری (S) Salinity (S)	3	9186 ^{**}	19912 ^{**}	27.12 ^{**}	110 ^{**}	12493 ^{**}
G×S	3	21.04 [*]	3.64 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.329 ^{ns}	22.04 ^{**}
سیلیکون (Si) Silicon (Si)	4	177 ^{**}	384 ^{**}	2.99 ^{**}	1.57 ^{**}	226 ^{**}
Si×G	4	14.9 ^{ns}	1.36 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.009 ^{ns}	4.28 ^{ns}
Si×S	12	1.25 ^{ns}	6.26 ^{ns}	0.122 ^{**}	0.078 ^{ns}	3.97 ^{ns}
G×S×Si	12	1.79 ^{ns}	2.31 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.027 ^{ns}	1.28 ^{ns}
خطا Error	80	7.25	24.65	0.027	0.274	4.90 ^{ns}
CV (%)		8.27	6.58	8.56	8.91	5.39

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

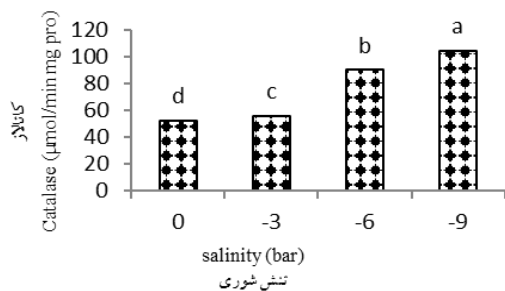
ns, * and **: non-significant, significant at the 5 and 1% level of probability, respectively



شکل (۱۰) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × ژنوتیپ کاملینا از نظر فعالیت آنزیم پراکسیداز ($P \leq 0.05$)

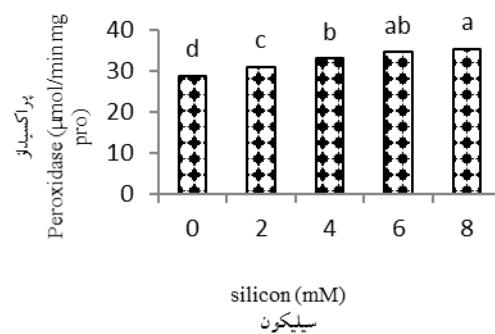
Figure (10) Mean comparison of salinity × camelina genotype interaction in terms of peroxidase activity ($P \leq 0.05$)

تیموری و همکاران: تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی ...



شکل (۱۲) مقایسه میانگین سطوح شوری از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز در کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (12) Mean comparison of salinity levels in terms of the catalase activity in camelina ($P \leq 0.05$)



شکل (۱۱) مقایسه میانگین اثر سیلیکون از نظر سرعت فعالیت آنزیم پراکسیداز ($P \leq 0.05$)

Figure (11) Mean comparison of silicon in terms of peroxidase activity ($P \leq 0.05$)

اسمزی ۹- بار (۳/۶۹ واحد بر گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۱۵).

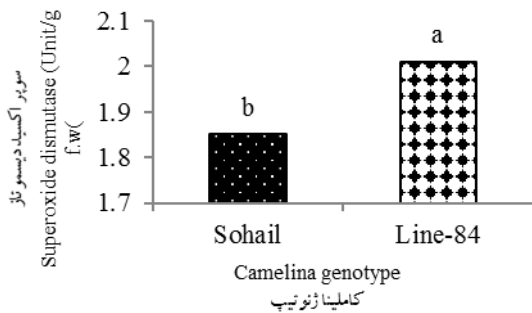
پروتئین‌های محلول: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) تنش شوری و سیلیکون بر پروتئین‌های محلول بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین مقدار پروتئین محلول برگ در تیمار بدون تنش شوری به مقدار ۷/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. با افزایش شدت تنش، مقدار پروتئین‌های محلول کاهش پیدا کرد به طوری که در تنش شوری ۳-، ۶- و ۹- بار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵، ۴۳ و ۴۸ درصد مقدار پروتئین‌های محلول کاهش یافت (شکل ۱۶).

با افزایش غلظت سیلیکون، مقدار پروتئین‌های محلول افزایش یافت به طوری که در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب مقدار پروتئین محلول ۴، ۸، ۱۰/۷۵ و ۱۰/۹ درصد افزایش یافت (شکل ۱۷). به‌طور کلی، تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار پروتئین‌های محلول شد. تیمار سیلیکون اثر تنش شوری را کاهش داد و سبب افزایش میزان پروتئین‌های محلول شد. نتایج مشابهی در گیاه *Borago officinalis* L. مشاهده شد (۴۴).

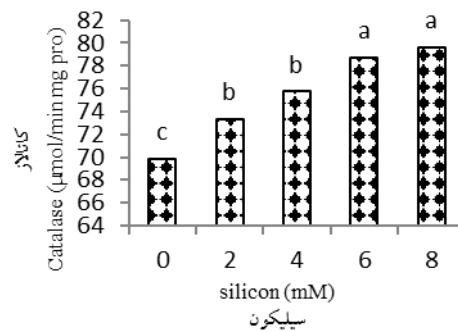
همچنین بیش‌ترین سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار ۸ میلی‌مولار سیلیکون به مقدار ۷۹/۵۸ میکرومول بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین مشاهده گردید که با تیمار غلظت ۶ میلی‌مولار محلول سیلیکون اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش غلظت محلول سیلیکون سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت (شکل ۱۳).

سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) ژنوتیپ کاملینا، سطوح مختلف شوری، محلول سیلیکون و اثر متقابل تنش شوری × محلول سیلیکون بر سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ژنوتیپ‌های کاملینا بود (جدول ۲). لاین ۸۴- دارای ۸/۶۵ درصد سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بیش‌تری نسبت به رقم سهیل بود (شکل ۱۴).

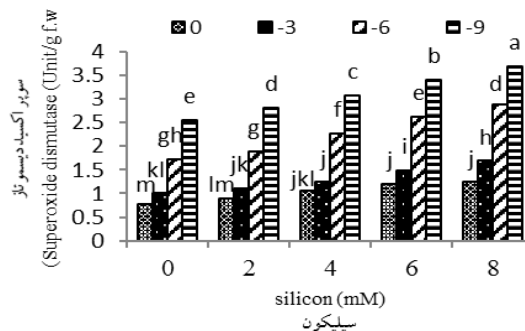
همچنین مقایسه میانگین اثر سیلیکون × تنش شوری بر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری و غلظت سیلیکون، سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت. به‌طور میانگین در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار سیلیکون نسبت به تیمار شاهد (بدون سیلیکون) به ترتیب ۱۱، ۲۷، ۴۴ و ۵۷ درصد، سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت. همچنین تنش شوری باعث افزایش سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. به طوری که بیش‌ترین سرعت این آنزیم در تیمار سیلیکون ۸ میلی‌مولار و در تنش



شکل (۱۴) مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کاملینا از نظر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز ($P \leq 0.05$)
Figure (14) Mean comparison of camelina genotypes in terms of the superoxide dismutase activity ($P \leq 0.05$)



شکل (۱۳) مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز در کاملینا ($P \leq 0.05$)
Figure (13) Mean comparison of silicon levels in terms of the catalase activity in camelina ($P \leq 0.05$)



شکل (۱۵) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری x سیلیکون از نظر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در کاملینا ($P \leq 0.05$)
Figure (15) Mean comparison of salinity x silicon interaction in terms of superoxide dismutase activity in camelina ($P \leq 0.05$)

۶۶/۹۱ میکرومول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که با سایر تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی داری داشت. کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدئید نیز مربوط به تیمار شاهد (بدون تنش شوری) لاین-۸۴ (به مقدار ۲۲/۰۱ میکرومول بر گرم وزن تر) بود. با افزایش شدت تنش شوری، میزان مالون‌دی‌آلدئید افزایش پیدا کرد به طوری که به صورت میانگین در شوری‌های ۳-، ۶- و ۹- بار به ترتیب ۱۰، ۱۳۳ و ۱۸۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۱۹).

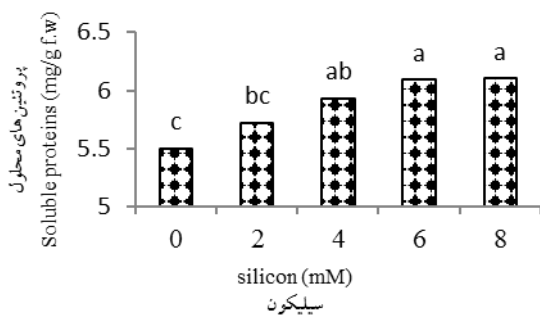
عزیزی و همکاران^۱ (۴۵)، گزارش کردند که در گیاه یونجه یکساله تحت تنش شوری کلرید سدیم، میزان مالون‌دی‌آلدئید نسبت به شرایط غیر شور افزایش یافت (۴۵).

مالون‌دی‌آلدئید

تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی دار ($P \leq 0.01$)، ژنوتیپ کاملینا، شوری، سیلیکون و اثر متقابل ژنوتیپ کاملینا x تنش شوری بر میزان مالون‌دی‌آلدئید بود (جدول ۲). اثر ساده سیلیکون نشان داد که بیش‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در تیمار ۸ میلی‌مولار سیلیکون به مقدار ۴۴/۴۲ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده گردید که با تیمار غلظت ۶ میلی‌مولار سیلیکون اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش غلظت محلول سیلیکون، میزان مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافت به طوری که در تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد به ترتیب میزان مالون‌دی‌آلدئید ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۰ درصد افزایش یافت (شکل ۱۸).

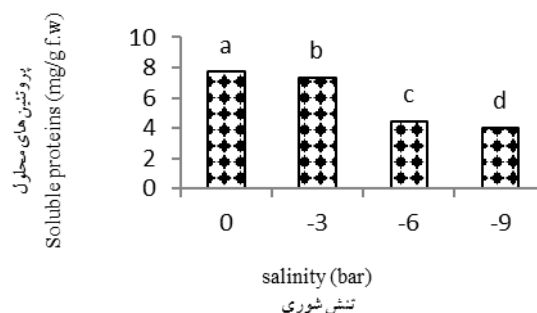
مقایسه میانگین ژنوتیپ کاملینا x شوری نشان داد که بیش‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در شوری ۹- بار رقم سهیل (با مقدار

تیموری و همکاران: تأثیر سیلیکون بر بهبود ویژگی‌های رشدی ...



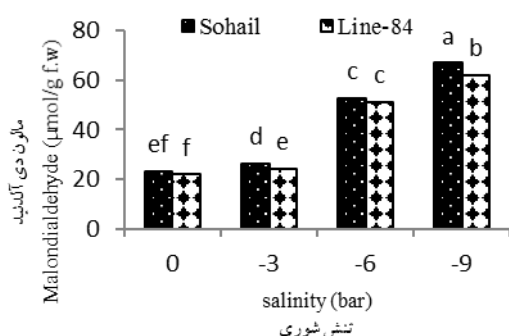
شکل (۱۷) مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر پروتئین‌های محلول در کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (17) Mean comparison of silicon levels in terms of the soluble proteins in camelina ($P \leq 0.05$)



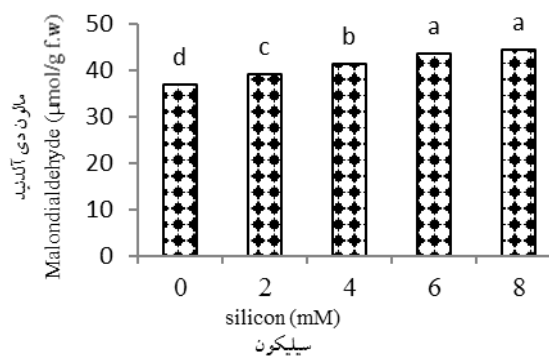
شکل (۱۶) مقایسه میانگین سطوح شوری از نظر پروتئین‌های محلول در کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (16) Mean comparison of salinity levels in terms of the soluble proteins in camelina ($P \leq 0.05$)



شکل (۱۹) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × ژنوتیپ کاملینا از نظر میزان مالون دی آلدئید ($P \leq 0.05$)

Figure (19) Mean comparison of salinity × camelina genotype interaction in terms of malondialdehyde ($P \leq 0.05$)



شکل (۱۸) مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر میزان مالون دی آلدئید در کاملینا ($P \leq 0.05$)

Figure (18) Mean comparison of silicon levels in terms of the malondialdehyde in camelina ($P \leq 0.05$)

خاک است حائز اهمیت است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثرهای شوری و سیلیکون بر صفات درصد جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بیه گیاهچه، طول و وزن خشک گیاهچه، آنزیم‌های آنتی اکسیدان و صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده معنی‌دار شد. با افزایش شدت شوری، رشد گیاهچه به مقدار بیشتری کاهش پیدا کرد به طوری که سطح تنش شوری ۹- بار نسبت

نتیجه‌گیری

محصولات زراعی در بسیاری از نواحی خشک و نیمه خشک در معرض تنش شوری هستند. علت این تنش، شوری خاک، شوری آب و نحوه آبیاری است. با توجه به اینکه ایران در کمربند خشکی قرار دارد، وجود تنش‌های محیطی خشکی و شوری اجتناب‌ناپذیر است. لذا کشت گیاه دانه روغنی مانند کاملینا که نسبت به سایر گیاهان روغنی رایج مورد کشت (مثل سویا و کلزا) دارای تحمل بیشتری به شرایط خشکی و شوری

سیلیکون ۸ میلی مولار نسبت به شاهد مربوطه (اثر متقابل شوری ۶- بار \times بدون مصرف سیلیکون)، سبب افزایش درصد جوانه زنی بذر (به میزان ۱۰ درصد)، طول گیاهچه (به میزان ۵۸ درصد)، شاخص بنیه گیاهچه (به میزان ۷۹ درصد)، وزن خشک گیاهچه (به میزان ۵۰ درصد) و سرعت فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (به میزان ۶۷ درصد) گردید. به طور کلی، اثر متقابل شوری ۳- بار \times سیلیکون ۸ میلی مولار، اثر متقابل شوری ۶- بار \times سیلیکون ۸ میلی مولار و اثر متقابل شوری ۹- بار \times سیلیکون ۸ میلی مولار نسب به شاهد های مربوطه آنها برتر بودند.

به شاهد سبب کاهش درصد جوانه زنی (۵۱/۹۷ درصد)، سرعت جوانه زنی (۶۶/۷۹ درصد)، شاخص بنیه گیاهچه (۹۲/۷۰ درصد)، طول گیاهچه (۸۴/۸۹ درصد)، وزن خشک گیاهچه (۶۴/۲۸ درصد) و محتوای پروتئین های محلول (۴۸/۱۸ درصد) گردید، اما باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان پراکسیداز (۲۰۹/۳۲ درصد)، کاتالاز (۸۸/۳۱ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۲۰۱/۹۴ درصد) و میزان مالون دی آلدئید (۱۸۱/۱ درصد) شد.

مقایسه میانگین ها نشان داد که کاربرد سیلیکون در بهبود شاخص های جوانه زنی بذر، رشد گیاهچه و صفات بیوشیمیایی گیاهچه مؤثر بود. به طوری که، اثر متقابل شوری ۶- بار \times

References

1. Tamartash, R., Shokrian, F. and Kargar, M. 2011. Investigating the effect of salinity and drought stress on the germination characteristics of Barasim clover seeds. *Marta Scientific Research Journal*. Volume 4. Number 2. Page 288-297. (in Persian)
2. Khalesrou, Sh., and Agha Alikhani, M. 2008. Effect of salinity and water Deficit stress on seed germination, *Pajouhesh & Sazandegi*, 20 (4): 153-163.
3. Zhang, W., Xie, Z., Lang, D., Cui, J., Zhang, X., 2017. Beneficial Effects of Silicon on Abiotic Stress Tolerance in Legumes *Journal of Plant Nutrition*. 1-33.
4. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of science*, 91 (1): 11-17.
5. Anser, A., Shahzad, M. A., Basra, S. H., Javaid Iqbal, M., Ahmad, A., Bukhsh A., and Sarwar, M. 2012. Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. *Pakistan Journal of Nutrition*. 11: 637-655.
6. Matichenkov, V. V. 2008. Silicon deficiency and Functionality in Soils, Crops and Food. 2th International Conference on Soil and Compost Eco-Biology, November 26th -29th, 2008. Puerto de la Cruz, Tenerife. Spain.
7. Kahrizi, D., Kazemitabar, SK., Soorni, J., Rostami-Ahmadvandi, H., Falah, F., Akbarabadi, A., Raziei, Z., Bakhsham, M. 2016. Introducing of camelina medicinal-oil plant for dryland conditions in Iran. *National Conference on the Impact of Climate Change on Plant Production*. 9 Sep. 2016. Sari, Iran
8. Alzahrani, Y., Kuşvuran, A., Alharby, H.F., Kuşvuran, S. and Rady, M.M. 2018. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 154: 187-196.
9. Hashemi, A., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H.R. 2010. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Science and Plant Nutrition*. 56: 244-253.
10. Biju, S., Fuentes, S. and Gupta, D. 2017. Silicon improves seed germination and alleviates drought stress in lentil crops by regulating osmolytes, hydrolytic enzymes and antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*. 119: 250-264.

11. International Seed Testing Association (ISTA). 2003. Handbook for Seedling Evaluation (3rd. Ed.). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland.
12. Alen, S. G., A. K. Dobrenz, M., Schonhorst, H., and stoner, J. E. 1985. Heritability of Nacl tolerance in germination of alfalfa seed. J. Agron. 77: 99-101.
13. Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1993. Seed Vigor Testing Journal of Science, 12(1): 1-19.
14. International Seed Testing Association (ISTA). 2006. International Rules for Seed Testing. Basserdorf, Switzerland, 2: 379 (Handbook)
15. Maguire, J. D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Sci. 2: 176-177.
16. Ellis, R. H., and Roberts, E. H. 1981. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9: 377-409.
17. Agrawal, R. 2003. Seed Technology. Pub. Co. PVT. LTD. New Delhi. India.
18. Hodges, M.D., DeLong, J.M., Forney, C.F., Prange, R.K. 1999: Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. Planta, 207: 604-611.
19. Chance, B., and Maehly, A.C. 1995. "Assay of catalase and peroxidase". Methods in Enzymology. 2: 764-775.
20. Sinha, A.K. 1972. Colorimetric assay of catalase. Analytical Biochemistry. 47: 389-394.
21. Beauchamp, C., and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide Gels. Analytical Biochemistry. 44(1):276-87.
22. Bradford, M.M. 1976. "A rapid and sensitive method for the quantitation of proteinutilizing the principle of protein-dye biding". Annual Review of Biochemistry. 72: 248-254.
23. Rezaee, M. and Alinejad, T. 2004. Study of effect of salinity on germination of cumin. Proceedings of the First National Conference on Cumin, 84-85 (In Persian).
24. Dashti, M., Sattar, N. and Qurbanzadeh, E. 2007. Effect of drought and salinity stresses on germination of *Althaea officinalis*. First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, 259 pp (In Persian).
25. Zhu, J.K. 2001. Plant salt tolerance. Trends in Plant Science, 6: 66-71.
26. Rajabi, R. 2001. Germination and growth response of different wheat cultivars to salinity. MSc Thesis, agriculture faculty, University of Tehran. (In Persian)
27. Gholamian, M., Qamarnia, H., Kehrizi, D. 2018. Investigation of camellia performance under different water salinity regimes in greenhouse conditions. Water and Irrigation Management, 7(2): 333-347. (In Persian)
28. Safar nejad, A., Alisadr, S. and Hamidi, H. 2007. Effects of salt stress on morphological characters of *Nigella* (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Rangelands and Forests plant breeding and Genetic Research. 15(1): 75-84. (In Persian)
29. Michel, B. E. and Kaufman, M. R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51: 914-916.

30. Alirezaei Naqander, M. Azizi, M., and. Valizade Qalbek, A. 2013. Studying the effect of salinity stress on the characteristics of seed germination and seedling growth of four improved varieties of medicinal basil. *Journal of Seed Science and Technology*. Second Year, Number 4. Page 44-56. (In Persian)
31. Haghighi, M., Afifipour, Z., and Mozafarian, M. 2012. The Alleviation Effect of Silicon on Seed Germination and Seedling Growth of Tomato under Salinity Stress. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 76: 119-126.
32. Huang, J. and Redmann, R.E. 1995. Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. *Canadian Journal Plant Science*, 75: 59-81.
33. De, F. and kar, R. K. 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean under water stress induced by PEG 6000. *Seed science and technology* 23. 301-304
34. Yohannes, G., Kidane, L., Abraha, B., and Beyene, T. 2020. Effect of Salt Stresses on Seed Germination and Early Seedling Growth of *Camelina sativa* L. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 12(1): 1-19.
35. Wang, X. D., Ou-yang, C., Fan, Z., Gao, S., Chen, F., and Tang, L. 2010. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 6 (3): 700-708.
36. Salami, M.R., Safarnejad, A. and Hamidi, H. 2006. Effect of salinity stress on morphological characters of *Cuminum cyminum* and *Valeriana officinalis*. *Pajouhesh & Sazandegi*. 72: 77-83. (In Persian)
37. Zehtab-Salmasi, S. 2008. The influence salinity and seed pre-treatment on the germination of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Research journal of agronomy*. 2(2): 28-30. (In Persian)
38. Huang; P., He; L., Abbas; A., Hussain; S., Du; D., Hafeez; M., Balooch; S., Noreen; Z., Ren; X.; Rafiq, M., and Saqi; M. 2021. Seed priming with sorghum water extract improves the performance of *Camelina* (*Camelina sativa* (L.) Crantz.) under salt stress . *Plants*, 10(749), 1-15. doi:10.3390/plants10040749
39. Yazdani Biooki, R., Rezvani Moghaddam, P., Khazai, H.R. and Ghorbani, R. 2010. Effect of drought and salinity stress in seed germination of *Silybum marianum*. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8: 12-19 (In Persian)
40. Redmann, R.E., Qi, M.Q and Belyk, M. 1994. Growth of transgenic and standard canola (*Brassica napus* L.) varieties in response to soil salinity. *Plant Science*, 74: 797-799.
41. Puntarulo, S., Galleano, M., Sanchez, R. A. and Boveris, A. 1991. Superoxide anion and hydrogen peroxide metabolism in soybean embryonic axes during germination. *Biochemica et Biophysica Acta*, 1047, 277-283.
42. Appel, K. and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Plant Biology*. 55: 373-399
43. Kaya, C., Ydemir, S., Sonmes, O., Ashraf, M. and Dikilitas, M. 2013. Regulation of growth and some key physiological processes in salt- stressed maize (*Zea mays* L.) plants by exogenous application of asparagine and glycerol. *Acta Botanica Croatica*. 72: 157-168.
44. Enteshari, S., Alishavandi, R. and Delavar, K. 2011. Interactive effects of silicon and NaCl on some physiological and biochemical parameters in *Borago officinalis* L. *Iranian Journal of Plant Physiology* 2(1): 315-320.
45. Azizi, M., Abdulzadeh, A., Mehraban Jovini, P., and Sadeghipour, H.R. 2017. Investigating the effect of silica on improving tolerance to sodium chloride salinity stress in one-year alfalfa (*Medicago scutellata* L.). *Journal of Agricultural Research of Iran*. 14. (1): 133-143 (In Persian).