Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effect of silicon application on some quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress

Mahtab Salehi[1*], Samaneh Nesari[2], Shadi Jalalvand[3]

1 Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Nahavand Higher Education Complex, Bu -Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: mahtab.salehi@basu.ac.ir

2 BSc student, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Nahavand Higher Education Complex, Bu -Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: samaneh.nesari1380@gmail.com

3 BSc student, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Nahavand Higher Education Complex, Bu -Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: jalalvandshadi80@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-2-14
Accepted: 2024-7-17

Keywords:
Oil percentage
Oil seed
Salinity
Silicon
1000-grain weight

ABSTRACT

Background and Objectives: Salinity is one of the most important environmental abiotic stresses that limit the growth and production of plants. On the other hand, silicon (Si) is the second most abundant element in soil and reduces biotic and abiotic stresses in plants. By penetrating the stem and leaves, silicon strengthens the plant antioxidant system, while strengthening the physical organs and improving the plant physiological processes, which results in strengthening the antioxidant system of the plant and increasing its efficiency against environmental stresses. According to the recent findings of researchers, a small amount of silicon can affects the ability of plants to withstand salt stress. Oil seeds are important sources of vegetable oils. Safflower seed with an oil content of 25 to 45% is one of the most valuable oilseeds. The aim of this research was to evaluate the effect of silicon foliar application on some quantitative and qualitative characteristics of safflower under salt stress.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with three replications in greenhouse research of Nahavand Higher Education Complex during 2023. Experimental factors included salinity stress at three levels (0, 40 and 80 mM) and silicon foliar application at three levels (0, 2 and 4 g/L). The height of the plant, the stem diameter, the head diameter and weight, the 1000-grain weight, the percentage of the oil, and the amount and type of fatty acids were measured traits.

Results: The results of the experiment showed the positive effect of silicon application on most of the studied traits, so that the largest head diameter (14.70 mm) was created in the treatment of 4 g/L of silicon and without salt, which was not statistically different compared with the treatment of 4 g/L of silicon and 40 mM salinity. The highest amount of plant height, stem diameter, head weight and 1000-grain weight was obtained by applying 4 g/L silicon and 40 mM salinity stress. The increase percentage of these traits, compared to the non-application of silicon at the same salinity level (40 mM)

was 18.11%, 15.19%, 14.78% and 17.35%, respectively. The highest percentage of oil (27.31%) was obtained by applying the highest level of silicon and salinity. The increase in the oil percentage in this treatment was 80.74% compared to the absence of silicone application at the same salinity level. The highest amount of linoleic acid (77.02%) was obtained in the treatment of 2 g/L silicon and 40 mM salinity. The increase percentage of linoleic acid in this treatment was 11.60% compared to the absence of silicon application at the same salinity level. The highest amount of oleic acid (18.90%) was produced using the highest level of silicon and no salinity. The highest level of stearic acid (2.80%) and linolenic acid (0.2%) was obtained in the control treatment.

Conclusion: The results of this research showed the positive effect of silicon application on most of the investigated traits. Also, with the application of silicon, the adverse effects of salt stress in some traits such as plant height, stem diameter, head weight, 1000-grain weight and oil percentage were reduced. Therefore, the use of silicon can be suggested as an effective method to reduce the destructive effects of salinity stress.

Cite this article: Salehi, M., Nesari, S., Jalalvand, Sh. 2024. The effect of silicon application on some quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress. *Crop Production Journal*, 17 (2), 107-120.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.22199.2618
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تأثیر کاربرد سیلیکون بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش شوری

مهتاب صالحی[1*]، سمانه نثاری[2]، شادی جلالوند[3]

[1] استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا ـ مجتمع آموزش عالی نهاوند (ویژه دختران)، همدان، ایران، رایانامه: mahtab.salehi@basu.ac.ir
[2] دانشجوی کارشناسی رشته علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا ـ مجتمع آموزش عالی نهاوند (ویژه دختران)، همدان، ایران، رایانامه: samaneh.nesari1380@gmail.com
[3] دانشجوی کارشناسی رشته علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا ـ مجتمع آموزش عالی نهاوند (ویژه دختران)، همدان، ایران، رایانامه: jalalvandshadi80@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲۷

واژه‌های کلیدی:
دانه روغنی
درصد روغن
سیلیکون
شوری
وزن هزاردانه

چکیده

سابقه و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محیطی و محدودکننده رشد و تولید گیاهان است. از طرفی، سیلیسیوم (Si) دومین عنصر فراوان در خاک است و موجب کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان می‌گردد. سیلیکون با نفوذ در ساقه و برگ، ضمن استحکام فیزیکی اندام‌ها و بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه، موجب تقویت سامانه آنتی-اکسیدانی گیاه می‌شود که نتیجه آن، افزایش کارایی گیاه در مقابل تنش‌های محیطی است. براساس یافته‌های اخیر محققان، محلول‌پاشیِ مقدار کمی از سیلیکون، می‌تواند تحمل گیاهان به تنش شوری را تحت تأثیر قرار دهد. دانه‌های روغنی، منابع مهم روغن‌های گیاهی هستند. دانه گلرنگ با محتوای روغن ۲۵ تا ٤٥ درصد، یکی از دانه‌های روغنی بسیار ارزشمند است. هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی نهاوند در سال ۱٤۰۲ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش شوری در سه سطح (صفر، ٤۰ و ۸۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی سیلیکون در سه سطح (صفر، ۲ و ٤ گرم در لیتر) بود. صفاتی که مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند عبارت بودند از: ارتفاع گیاه، قطر ساقه، قطر و وزن طبق، وزن هزار دانه، درصد روغن، میزان و نوع اسیدهای چرب.

یافته‌ها: نتایج آزمایش بیانگر تأثیر مثبت کاربرد سیلیکون بر اکثر صفات مورد بررسی بود، به طوری که بیشترین قطر طبق (۱٤/۷۰ میلی‌متر) در تیمار ٤ گرم در لیتر سیلیکون و بدون شوری ایجاد شد که از نظر آماری با تیمار ٤ گرم در لیتر سیلیکون و ٤۰ میلی‌مولار شوری تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقادیر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن طبق و وزن هزاردانه، با کاربرد ٤ گرم در لیتر سیلیکون و تنش شوری ٤۰ میلی‌مولار به دست آمد. درصد افزایش این صفات در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون در همان سطح شوری، به‌ترتیب ۱۸/۱۱٪، ۱۵/۱۹٪، ۱٤/۷۸٪

و ۱۷/۳۵٪ بود. بیشترین درصد روغن (۲۷/۳۱٪) با کاربرد بالاترین سطح سیلیکون و شوری به دست آمد افزایش درصد روغن در این تیمار، در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون در همان سطح شوری، ۸۰/۷٤٪ بود. بیشترین میزان اسید لینولئیک (۷۷/۰۲٪) از تیمار ۲ گرم در لیتر سیلیکون و ٤۰ میلی مولار شوری به دست آمد. درصد افزایش اسید لینولئیک در این تیمار، در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون در همان سطح شوری، ۱۱/٦۰٪ بود. بیشترین میزان اسید اولئیک (۱۸/۹۰٪) با استفاده از بالاترین سطح سیلیکون و بدون شوری تولید شد. بالاترین میزان اسید استئاریک (۲/۸۰٪) و لینولنیک (۰/۲٪) در تیمار شاهد به دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش، نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاربرد سیلیکون بر اکثر صفات مورد بررسی بود. همچنین با کاربرد سیلیکون، آثار سوء تنش شوری در برخی صفات مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن طبق، وزن هزاردانه و درصد روغن کاهش یافت. بنابراین می‌توان کاربرد سیلیکون را به عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات تخریبی تنش شوری پیشنهاد کرد.

استناد: صالحی، مهتاب؛ نثاری، سمانه؛ جلالوند، شادی. (۱٤۰۳). تأثیر کاربرد سیلیکون بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش شوری. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷(۲)، ۱۲۰-۱۰۷.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.22199.2618

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

غلظت بالای نمک خاک، یکی از عوامل اصلی محدودکننده محصولات زراعی در نیم قرن اخیر است (۱). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک بر اثر تبخیر آب‌های سطحی و بالا آمدن نمک‌های محلول به سطح خاک بر اثر خاصیت مویینگی اتفاق می‌افتد. علاوه بر آن، استفاده از سامانه‌های آبیاری نامناسب و آبیاری بی‌رویه نیز سبب بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و درنتیجه، شوری خاک می‌شود. باتوجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیازهای غذایی در سرتاسر جهان، نیاز به استفاده از زمین‌های شور جهت کشاورزی افزایش یافته است (۲). سیلیس بعد از اکسیژن، فراوان‌ترین عنصر روی پوسته زمین است. سیلیس یک عنصر غیرضروری و در عین حال مفید برای بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود (۳). گزارش‌های متعددی مبنی بر نقش عنصر سیلیس در کاهش اثرات مضر تنش شوری در گیاهان وجود دارد (٤، ٥ و ٦). در تنش شوری، سیلیس، با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و گلوتاتیون ریداکتاز، گونه‌های اکسیژن فعال مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2) را کاهش می‌دهد (۷و۸).

به‌طور کلی، سازوکار تحمل گیاهان به تنش به واسطه تیمار سیلیس را می‌توان به بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان نسبت داد. تیمار سیلیس سبب افزایش رشد و زیست‌توده گیاه، افزایش جذب عناصر ضروری، هموستازی یونی، حفظ استحکام ساختاری سلول، افزایش کارایی فتوسنتز، فعال‌سازی سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان، افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه مربوط به مقاومت به تنش، و تنظیم ژن‌های درگیر در فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی می‌شود. در شرایط تنش شوری ناشی از کلریدسدیم، سیلیس سبب کاهش جذب آپوپلاستی یون‌های سدیم و کلر می‌گردد (۳).

ترابی و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر سیلیکون را بر برخی ویژگی‌های آناتومیکی و فیزیولوژیکی گیاه گاوزبان دارویی در شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گیاهانی که تحت تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون بودند بیشترین طول و عرض روزنه و شاخص روزنه نسبت به شاهد و دیگر تیمارها را داشتند. همچنین تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون، تأثیرات مثبتی بر وزن تر اندام هوایی و محتوای کلروفیل کل نشان داد. با این وجود غلظت‌های بالای سیلیکون، تأثیر منفی در رشد و صفات آناتومیکی گیاه داشت (۹).

زراوشان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که با کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری، وزن خشک گیاهان ۸٦ درصد افزایش یافت (۱۰). گزارش‌ها حاکی از تأثیر مثبت سیلیکون بر صفات فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهان مختلف است. در واقع، افزایش رشد گیاه در حضور سیلیکون می‌تواند ناشی از تجمع سیلیکون در برگ‌ها باشد که از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها، باعث ایستادگی ساقه و گسترش برگ‌ها در برابر نور و افزایش جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (۱۱). بررسی اثر نانوذرات سیلیکون توأم با تیمار شوری بر برخی فاکتورهای رشدی در گیاه زعفران نشان داد که کاربرد نانوسیلیکون از طریق محلول‌پاشی، تا حدود زیادی اثرات منفی ناشی از تنش شوری بر فاکتورهای رشدی زعفران را بهبود بخشید (۱۲).

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)به‌عنوان یک گیاه زراعی بومی ایران، از اهمیت زیادی در تأمین نیاز روغن ایران برخوردار می‌باشد. وجود توده‌های محلی و انواع تیپ‌های وحشی این گیاه که در سراسر ایران

پراکنده است، نشان از سازگاری بالای گلرنگ با شرایط آب و هوایی مناطق وسیعی از کشور ایران دارد (۱۳). گلرنگ نسبت به تنش‌های شوری و خشکی متحمل می‌باشد (۱٤). این گیاه یکساله، سازگار به شرایط اقلیمی ایران با عادت رشد نامحدود است. دانه گلرنگ دارای ۲۵ تا ٤۵ درصد روغن و ۱۲ تا ۲٤ درصد پروتئین می‌باشد (۱۳و۱٤و۱۵). بین ۷۸ تا ۹۰ درصد روغن گلرنگ را اسیدهای چرب غیراشباع ضروری (اسید اولئیک و اسید لینولئیک) تشکیل می‌دهند (۱٤). با توجه به اهمیت زیادی که اسیدهای چرب غیراشباع در کیفیت تغذیه‌ای روغن دارند، روغن گلرنگ با بیش از ۸۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع، جزو روغن‌های گیاهی بسیار باارزش به شمار می‌آید (۱٦).

روغن دانه گلرنگ، غنی از اسید لینولئیک، یک اسید چرب غیراشباع است که به کاهش کلسترول خون کمک می‌کند و به همین دلیل، در بسیاری از کشورها به عنوان یک گیاه دارویی استفاده می‌شود (۱۷). همچنین مقدار زیاد اسید اولئیک موجود در روغن گلرنگ به علت پایداری زیاد و طعم دلپذیرش، آن را به یک روغن سرخ‌کردنی عالی تبدیل کرده است (۱۸). در سال‌های اخیر، نتایج مطالعات تغذیه‌ای با لینولئیک و اولئیک بالا، امیدوارکننده است. به طوری که روغن گلرنگ با داشتن مقدار بالایی از اسید لینولئیک، می‌تواند با سایر روغن‌های گیاهی ترکیب شده و ارزش غذایی آنها را ارتقا دهد (۱۷).

نظر به قابلیت گیاه گلرنگ در تولید روغن و اهمیت گسترش سطح زیر کشت آن و با توجه به روند روبه‌رشد شور شدن خاک‌های زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و لزوم پژوهش در زمینه یافتن راهکارهای تحمل و مقاومت به شوری در گیاهان، و نظر به نقش سیلیکون در کاهش اثرات مخرب تنش‌های زنده و غیرزنده، این مطالعه با هدف بررسی اثر سیلیکون بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه گلرنگ تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سیلیکون و شوری بر گیاه گلرنگ، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، با دو عامل شامل شوری در سه سطح (صفر، ٤۰ و ۸۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی سیلیکون در سه سطح (صفر، ۲ و ٤ گرم در لیتر) در گلخانه مجتمع آموزش عالی نهاوند در اول اردیبهشت ماه ۱٤۰۲ اجرا گردید. میانگین بیشترین دمای گلخانه ۳۵ درجه سلسیوس و کمترین دما ۲۰ درجه سلسیوس بود. میزان روشنایی ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. رقم گلرنگ مورد استفاده، رقم گلدشت (از ارقام اصلاح‌شده) بود و از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. لازم به ذکر است که گلرنگ گیاهی روزبلند است اما بسیاری از ارقام اصلاح‌شده، نسبت به طول روز، بی‌تفاوت هستند. به طور کلی در کشت بهاره، طول روز در بهار به اندازه کافی بلند است و بسیاری از ارقام در این شرایط، به طول روز عکس‌العمل نشان نمی‌دهند (۱٤). سیلیکون مورد استفاده در آزمایش، از شرکت سپاهان اصفهان تهیه گردید و برای اعمال تنش شوری از نمک NaCl استفاده شد. گلدان‌ها با خاک زراعی پر شد. وزن خاک گلدان‌ها ۳ کیلوگرم و ابعاد گلدان‌ها ۳۰ (قطر دهانه) × ۲۲ (ارتفاع) سانتی‌متر بود. برای اطلاع از وضعیت فیزیکوشیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مذکور گردید (جدول ۱: نتایج آزمون خاک).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کاشت گیاه گلرنگ

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in cultivating *Carthamus tinctorius* L.

بافت خاک Soil Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	نیتروژن قابل جذب Absorbable nitrogen (%)	کربنات کلسیم معادل Carbonate calcium equivalent (%)	اسیدیته گل اشباع Saturated soil acidity (pH)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)
لوم شنی Sandy loam	63.0	25.0	12.0	0.35	70.0	5.0	0.035	28.0	7.7	1.7

پس از آماده‌سازی گلدان‌ها، در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شد. بعد از استقرار کامل بوته‌ها، تعداد گیاهان به ۵ عدد بوته در هر گلدان تنک گردید. محلول‌های شوری، با حل کردن مقادیر مورد نیاز از کلرید سدیم (ساخت شرکت مرک) با خلوص ۹۵٪ در آب آبیاری برای رسیدن به هدایت الکتریکی تیمار مورد نظر، تهیه شد و آب آبیاری به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی با سیلیکون و آبیاری با آب شور، هر هفته یک‌بار، از مرحله دوبرگی تا پایان رشد ادامه یافت. به منظور جلوگیری از تجمع نمک، آبشویی گلدان‌ها، هر دوهفته یک‌بار با آب معمولی انجام گرفت. آبیاری با آب شور به حدی انجام می‌شد که محلول نمک از انتهای گلدان خارج شود و هدایت الکتریکی آب ورودی و خروجی، اندازه‌گیری می‌شد تا سطح تنش در تمام گلدان و در تمام مراحل رشد، ثابت باشد. گیاهان در آخر تیرماه، به غوزه رفتند و برداشت انجام شد. صفات مورد اندازه‌گیری در این مطالعه، عبارت بودند از: ارتفاع گیاه، قطر ساقه، قطر و وزن طبق، وزن هزاردانه، درصد روغن و میزان و نوع اسیدهای چرب آن.

جهت روغن‌گیری از دانه، ۱۰ گرم دانه با حلال پترولیوم اتر و با دستگاه سوکسله به مدت چهار ساعت عصاره‌گیری شد. تغلیظ عصاره مذکور در داخل بالن توزین شده (t_1) با دستگاه دوار تقطیر در خلاء انجام گرفت و سپس بالن حاوی روغن استخراج شده (t_2) توزین گردید. تفاوت میان t_1 و t_2 بیانگر وزن روغن استخراج‌شده از ۱۰ گرم دانه می‌باشد که به صورت درصد بیان گردید. تعیین صفات کیفی روغن نظیر پروفایل درصد اسید اولئیک، لینولئیک و لینولنیک با استریفیکاسیون (متیل‌استر) اسیدهای چرب صورت گرفت (۱۹). تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون آماری کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سیلیکون و شوری، روی صفات ارتفاع گیاه، وزن طبق، وزن هزاردانه، درصد روغن، درصد اسید لینولئیک، اسید اولئیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک و اسید لینولنیک، دارای اثر بسیار معنی‌دار و روی قطر ساقه و قطر طبق، دارای اثر معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین قطر طبق (۱٤/۷۰ میلی‌متر) در تیمار ٤ گرم در لیتر سیلیکون و بدون شوری به دست آمد که از نظر آماری با تیمار ٤ گرم در لیتر سیلیکون و شوری ٤۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بالاترین ارتفاع گیاه (۵۲/۱٦ سانتی‌متر)، بیشترین قطر ساقه (۵/۲۳ میلی‌متر)، بیشترین وزن طبق (٦/۲۱ گرم) و بیشترین وزن هزاردانه (۵٦/٤۵ گرم)، با کاربرد ٤ گرم در لیتر سیلیکون و ٤۰ میلی‌مولار شوری به دست آمد (جدول ۳).

مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از سیلیکون می‌تواند به طور قابل‌توجهی آسیب ناشی از شوری را کاهش دهد (۲۰و۲۱). به دلیل نقش مثبت سیلیکون در مکانیسم‌هایی مانند رسوب یون‌های سدیم (۲۲)، کاهش جذب سدیم، افزایش جذب پتاسیم (۲۰) و افزایش انتخاب پتاسیم نسبت به سدیم (۲۳)، کاربرد سیلیکون در جهت افزایش مقاومت به شوری پیشنهاد شده است. تأثیر سیلیکون در جذب و انتقال عناصر مغذی، می‌تواند از طریق دو مکانیسم صورت گیرد: مکانیسم اول، رسوب سیلیکون در دیواره سلولی که می‌تواند جذب آپوپلاستی برخی از عناصر از طریق ریشه و کاهش انتقال آنها در جریان تعرق را کاهش دهد (۲٤)؛ در مکانیسم دوم، سیلیکون می‌تواند عملکرد و یکپارچگی غشای سلولی را بهبود بخشد و باعث افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی شود (۲۲). کاهش ارتفاع گیاه به دلیل تنش شوری در گلرنگ (۲۵) و گندم (۲٦) گزارش شده است؛ با این حال، استفاده از سیلیکون، اثرات منفی تنش شوری را جبران کرد و ارتفاع گیاه با افزایش غلظت سیلیکون در مقایسه با گیاهان تیمارنشده، بهبود یافت. در مطالعه شریفی (۲۰۱۷)، کاربرد سیلیکون به میزان ۱/۵ میلی‌مولار، موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و وزن هزاردانه در کلزا گردید (۲۷). نتایج مطالعه حسین و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری و سدیمی در آفتابگردان، باعث افزایش ۲۲ تا ۳۰ درصدی قطر طبق گردید (۲۸). براساس نتایج مطالعه شاهمردان و همکاران (۲۰۲۲) روی گیاه کلزا، فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق تأثیر بر تقسیم و رشد سلولی و همچنین انتقال اسیمیلات‌ها به دانه، موجب افزایش وزن هزاردانه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد سیلیکون گردید (۲۹). در مورد صفت مهم تولید روغن، بیشترین درصد روغن (۲۷/۳۱ درصد) در تیمار ٤ گرم در لیتر سیلیکون و ۸۰ میلی‌مولار شوری به دست آمد (شکل ۱). بایبوردی (۲۰۱٦) گزارش کرد که با افزایش مصرف سیلیکون از صفر به ٤ گرم در لیتر، محتوای روغن دانه به طور معنی‌داری افزایش یافت (۳۰). گزارش شده است که کاربرد سیلیکون در کنجد، تعداد کپسول‌ها را در گیاه، تعداد دانه را در کپسول‌ها، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و محتوای روغن را افزایش داد (۳۱). همچنین محتوای روغن، با کاربرد سیلیکون در شرایط تنش شوری در گلرنگ افزایش یافت (۳۲).

در خصوص درصد اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده روغن، بیشترین اسید چرب موجود در روغن دانه گلرنگ، اسید لینولئیک بود که مقدار آن از ٦۹/۰۱ تا ۷۷/۰۲ درصد متغیر بود (شکل ۲) و سپس به‌ترتیب اسید اولئیک از ۱۲/۸۲ تا ۱۸/۹۰، اسید پالمیتیک از ۵/۲۰ تا ۹/۹۱، اسید استئاریک از ۱/۸۲ تا ۲/۸۰ و اسید لینولنیک از ۰/۰۳ تا ۰/۲۰ درصد متغیر بودند (جدول ۳). بیشترین اسید لینولئیک (۷۷/۰۲ درصد) با کاربرد ۲ گرم سیلیکون در لیتر و ٤۰ میلی‌مولار شوری ایجاد گردید (شکل ۲) و بیشترین میزان اسید اولئیک (۱۸/۹۰) با استفاده از ٤ گرم در لیتر سیلیکون و بدون شوری به دست آمد. بیشترین میزان اسید پالمیتیک (۹/۹۱) بدون استفاده از سیلیکون و در شوری ٤۰ میلی مولار حاصل شد. بیشترین درصد اسید استئاریک (۲/۸۰ درصد) و بالاترین مقدار اسید لینولنیک (۰/۲ درصد) بدون استفاده از سیلیکون و بدون شوری ایجاد شد (جدول ۳). نقش سیلیکون نه تنها در افزایش رشد و عملکرد گیاهان، بلکه در بهبود کیفیت اسیدهای چرب دانه‌های روغنی نیز به اثبات رسیده است (۳۳). نتایج مطالعات نشان داده است که اثر مثبت سیلیکون بر کیفیت اسیدهای چرب در روغن، با افزایش درصد اسید لینولئیک و کاهش درصد اسید استئاریک و اسید پالمیتیک ایجاد می‌گردد (۳۱ و ۳۲).

جدول ۲ ـ تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون بر برخی صفات کمی و کیفی گلرنگ تحت تنش شوری

Table 2. Variance analysis of silicon foliar spray effect on some quantitative and qualitative traits of *Carthamus tinctorius* L. under salinity stress

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی Df	ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	قطر طبق Head diameter	وزن طبق Head weight	وزن هزار دانه 1000-grain weight	درصد روغن Oil percentage	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid	اسید استئاریک Stearic acid	اسید لینولنیک Linolenic acid
شوری Salinity	2	117.48**	1.32**	5.43*	1.17**	111.90**	20.32**	16.42**	25.44**	6.07**	0.11**	0.006*
سیلیکون Silicon	2	118.25**	1.25**	10.28**	1.18**	129.50**	76.85**	11.42**	2.15**	3.42**	0.25**	0.004*
شوری × سیلیکون Salinity × Silicon	4	40.59**	0.43*	4.73*	0.40**	44.17**	77.10**	28.88**	12.53**	5.80**	0.25**	0.008**
خطا Error	18	7.29	0.09	1.15	0.07	6.94	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
ضریب تغییرات Coefficient Of Variation		6.54	7.60	8.67	5.26	5.79	0.24	0.04	0.21	0.52	1.49	23.91

ns ، * و ** به ترتیب نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌دار بودن، معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد و معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد است.

ns: not significant *: significant at P<0.05 **: significant at P<0.01

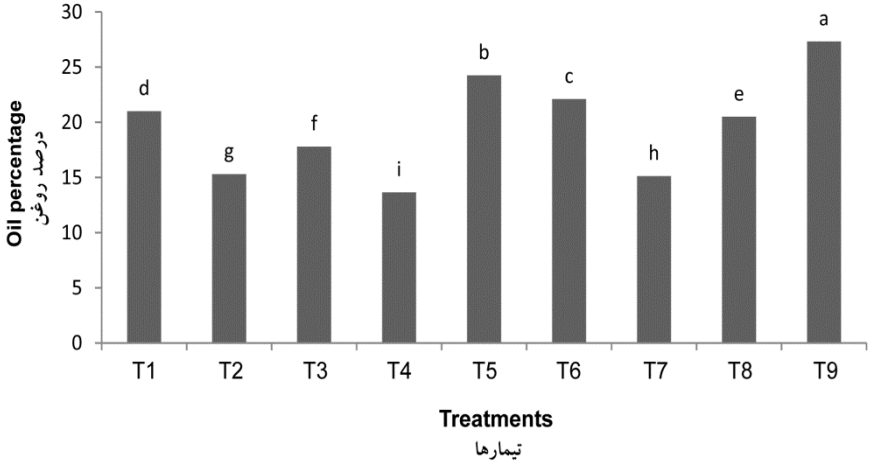
جدول ۳ ـ مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر برخی صفات کمی و کیفی گلرنگ تحت تنش شوری

Table 3. Compare means of silicon foliar spray effect on some quantitative and qualitative traits of *Carthamus tinctorius* L. under salinity stress

تیمارها (Treatments)		صفات مورد اندازه‌گیری (Measured traits)								
شوری (Salinity)	سیلیکون (Silicon)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	قطر طبق Head diameter (mm)	وزن طبق Head weight (g)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	اسید اولئیک Oleic acid (%)	اسید پالمیتیک Palmitic acid (%)	اسید استئاریک Stearic acid (%)	اسید لینولنیک Linolenic acid (%)
صفر control	صفر control	37.00d	3.70c	10.95b	4.70d	41.35d	18.30b	5.20h	2.80a	0.20a
	۲ گرم در لیتر 2 g/L	37.33d	3.67c	11.19b	4.73d	41.26d	16.46d	5.82g	2.29ed	0.07b
	٤ گرم در لیتر 4 g/L	45.66b	4.52b	14.70a	5.56b	50.60b	18.90a	6.38d	2.27e	0.06b
٤٠ میلی‌مولار 40 mM	صفر control	44.16bc	4.54b	11.90b	5.41bc	48.10bc	17.40c	9.91a	2.42c	0.03b
	۲ گرم در لیتر 2 g/L	39.66cd	3.89c	11.52b	4.96cd	43.83cd	13.39h	6.35d	1.82g	0.06b
	٤ گرم در لیتر 4 g/L	52.16a	5.23a	14.26a	6.21a	56.45a	14.67g	6.06f	2.56b	0.08b
۸۰ میلی مولار 80 mM	صفر control	40.16cd	4.04bc	11.84b	5.01cd	44.53cd	12.82i	6.79b	2.73f	0.08b
	۲ گرم در لیتر 2 g/L	37.33d	3.70c	11.51b	4.73d	41.56d	16.33e	6.50c	2.28de	0.05b
	٤ گرم در لیتر 4 g/L	37.83d	3.75c	11.61b	4.78d	41.93d	15.32f	6.28e	2.33d	0.08b
LSD (5%)		4.63	0.53	1.84	0.46	4.52	0.05	0.05	0.05	0.05

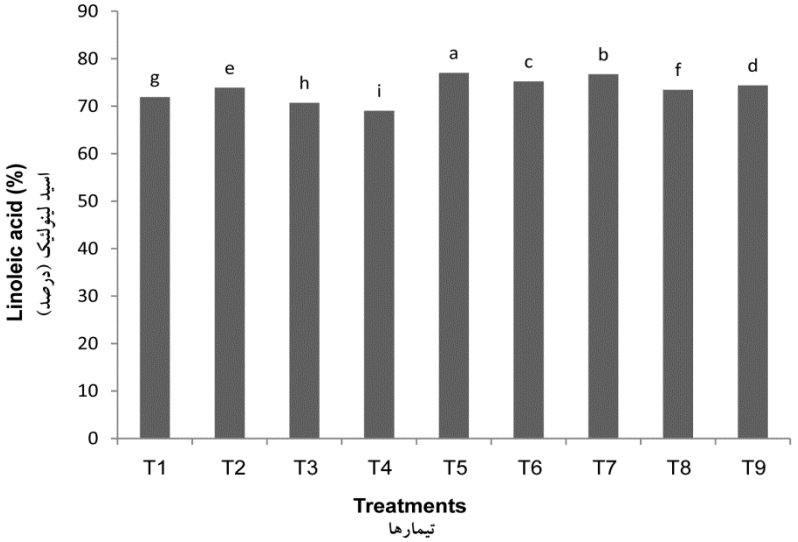
در هر ردیف، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

In each row, means with at least a similar letter, are not significantly different (P<0.05).



شکل ۱- اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر درصد روغن دانه گلرنگ تحت تنش شوری

Figure 1. The effect of silicon foliar application on oil percentage of safflower seed under salinity stress
T1 (silicon 0 * salinity 0); T2 (silicon 2 g/L * salinity 0); T3 (silicon 4 g/L * salinity 0); T4 (silicon 0 * salinity 40 mM); T5 (silicon 2 g/L * salinity 40 mM); T6 (silicon 4 g/L * salinity 40 mM); T7 (silicon 0 * salinity 80 mM); T8 (silicon 2 g/L * salinity 80 mM); T9 (silicon 4 g/L * salinity 80 mM)



شکل ۲- اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر درصد اسید لینولئیک روغن گلرنگ تحت تنش شوری

Figure 2. The effect of silicon foliar application on linoleic acid percentage of safflower oil under salinity stress
T1 (silicon 0 * salinity 0); T2 (silicon 2 g/L * salinity 0); T3 (silicon 4 g/L * salinity 0); T4 (silicon 0 * salinity 40 mM); T5 (silicon 2 g/L * salinity 40 mM); T6 (silicon 4 g/L * salinity 40 mM); T7 (silicon 0 * salinity 80 mM); T8 (silicon 2 g/L * salinity 80 mM); T9 (silicon 4 g/L * salinity 80 mM)

پستانداران، آنزیم‌های غیراشباع‌کنندهٔ لازم جهت تولید اسیدهای چرب امگا ٦ و امگا ٣ را ندارند و این اسیدهای چرب باید از طریق رژیم غذایی تأمین شوند. لینولئیک اسید (اولین اسید چرب از دسته امگا ٦) مهم‌ترین اسید چرب ضروری است که در اغلب روغن‌های گیاهی موجود می‌باشد. در صورت تأمین لینولئیک اسید، بدن انسان قادر است طی واکنش‌هایی، آن را به دیگر اسیدهای چرب امگا ٦ تبدیل نماید. از بُعد تغذیه‌ای، مهم‌ترین اسید چرب غیراشباع، لینولئیک اسید می‌باشد به طوری که کمبود آن در رژیم غذایی، باعث انسداد عروق و نهایتاً منجر به سکته قلبی خواهد شد. به علاوه این اسید چرب، نقش مهمی در ترمیم بافت‌های مجروح، سلامتی پوست، مکانیسم رشد و تکامل و تولید پروستاگلاندین دارد (٣٤،

۳۵و۳۶). روغن گلرنگ بالاترین مقدار لینولئیک اسید را در میان روغن‌های تجاری موجود دارد و از نظر میزان غیراشباع بودن، بین روغن سویا و روغن بزرک قرار می‌گیرد. روغن گلرنگ به دلیل داشتن میزان بالای لینولئیک اسید، اندیس یُدی بالا، رنگ زرد روشن و طعم مطبوع ویژه، به عنوان روغن مرغوب به شمار رفته و به صورت روغن سالاد، روغن پخت و پز و نیز در تهیهٔ مارگارین و مایونز قابل استفاده است (۳۵و۳۷).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این آزمایش، کاربرد سیلیکون، اثرات مخرب تنش شوری را کاهش داد به طوری که بیشترین ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن طبق و وزن هزاردانه با کاربرد بالاترین سطح سیلیکون (٤ گرم در لیتر) و شوری ٤٠ میلی‌مولار به‌دست آمد. درصد افزایش صفات مذکور، در مقایسه با تیمارِ فاقد سیلیکون در همین سطح شوری، نسبتاً قابل توجه بود. همچنین، بیشترین درصد روغن، با کاربرد همزمان بالاترین سطح سیلیکون و شوری تولید گردید. افزایش درصد روغن در این تیمار، در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون در همان سطح شوری، ۸۰/۷٤ درصد بود. به نظر می‌رسد در راستای کاهش اثرات مخرب تنش شوری می‌توان از سیلیکون استفاده نمود. همچنین از آنجا که با افزایش میزان اسید لینولئیک و کاهش درصد اسید پالمیتیک و استئاریک، کیفیت روغن افزایش می‌یابد، لذا می‌توان از سیلیکون برای رسیدن به این هدف مهم استفاده نمود. بدین ترتیب، به‌طور همزمان هم از خاک‌های شور استفاده می‌گردد و هم کیفیت روغن حفظ خواهد گردید. پیشنهاد می‌گردد این موضوع در مزرعه نیز در خاک‌های شور مورد بررسی قرار گیرد.

References

1. Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*, 105078, 1-8.
2. İbrahimova, U., Kumari, P., Yadav, S., Rastogi, A., Antala, M., Suleymanova, Z., Zivcak, M., Tahjib-Ul-Arif, Md., Hussain, S., Abdelhamid, M., Hajihashemi, S., Yang, X., & Brestic, M. (2021). Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. *Journal of Biotechnology*, *329*, 180-191.
3. Liu, B., Soundararajan, P., & Manivannan, A. (2019). Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. *Plants*, *8*, 307, 1-13.
4. Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F., & Abbas, F. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(20), 15416-15431.
5. Abdelaal, K.A.A., Mazrou, Y.S.A., & 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*(6), 733, 1-15.
6. Hurtado, A.C., Chiconato, D.A., Prado, R. de M., Sousa Junior, G. da S., Gratão, P.L., Felisberto, G., Viciedo, D.O., & 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, 1-11.
7. Abbas, T., Balal, R.M., Shahid, M.A., Pervez, M.A., Ayyub, C.M., Aqueel, M.A., & Javaid, M.M. (2015). Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced

photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*(6), 1-15.

8. Muneer, S., & Jeong, B.R. (2015). Proteomic analysis of salt-stress responsive proteins in roots of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants towards silicon efficiency. *Plant Growth Regulation*, *77*, 133-146.

9. Torabi, F., Majd, A., Enteshari, Sh., & Irian, S. (2013). Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) in hydroponic conditions. *Journal of Cell & Tissue* (JCT), *4*(3), 275-285. (In Persian)

10. Zarooshan, M., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H.R., & Mehraban Joubani, P. (2020). Comparison of the effect of silicon and nanosilicon on some biochemical and photosynthetic traits of *Zea mays* L. under salinity stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *15*(57), 23-38. (In Persian)

11. Raj, H., & Thakral, K.K. (2008). Effect of chemical fertilizers on growth, yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). *Journal of Spices and Aromatic Crops* (JOSAC), *17*(2), 134-139.

12. Asemeh, M., & Poorakbar, L. (2016). Effect of silica nanoparticles on some physiological and biochemical factors in saffron plant under salt stress. 19th National Congress and 7th International Biology Congress of Iran. Tabriz, University of Tabriz and Iranian Biological Association. (In Persian)

13. Zeinali, E. (1999). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) (Identification, Production and Consumption). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publication, 144p. (In Persian)

14. Khajehpour, M.R. (2004). Industrial Plants. Isfahan University of Technology publication, 571p. (In Persian)

15. Wolf, W.J. (2000). Oilseed crops (2nd edition). In: E.A. Weiss (ed.), Blackwell Science, Oxford, ix+364, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(10), 1572-1573.

16. Arab, S., Baradaran Firoozabadi, M., Asghari, H.R., Gholami, A., & Rahimi, M. (2012). Study of drought stress on yield and some spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) traits under ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application. The First National Congress of Plant Stresses (abiotic), Isfahan, University of Isfahan. (In Persian)

17. Liu, L., Guan, L.L., Wu, W., & Wang, L. (2016). A review of fatty acids and genetic characterization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. *Organic Chemistry: Current Research*, *5*(1), 1-4.

18. Smith, J.R. (1993). More than four decades of safflower development. Pp: 861-967, In: Third International Safflower Conference, Beijing, China.

19. Omidi, H., Tahmasebi, Z., Naghdi Badi, H.A., Torabi, H., & Miransari, M. (2010). Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. *Comptes Rendus Biologies*, *333*(3), 248-254.

20. Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., & Ding, R. (2005). Effects of silicon on H+-ATPase and H+-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*, *53*(1), 29-37.

21. Yan, G-C., Miroslav, N., Ye, M-J., Xiao, Z-X., & Liang, Y-C. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(10), 2138-2150.

22. Zhu, Y-X., Gong, H-J., & Yin, J-L. (2019). Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A review. *Plants*, *8*(6), 147, 1-22.

23. Kim Y-H., Khan, A.L., Waqas, M., & Lee, I-J. (2017). Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 510, 1-7.

24. Mali, M., & Aery, N.C. (2008). Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(11), 1867-1876.
25. Gengmao, Z., Yu, H., Xing, S., Shihui, L., Quanmei, S., & Changhai, W. (2015). Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Industrial Crops and Products*, *64*, 175-181.
26. Bybordi, A. (2014). Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, *13*(9), 1889-1899.
27. Sharifi, P. (2017). Effect of silicon nutrition on yield and physiological characteristics of canola (*Brassica napus*) under water stress conditions. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* (IJBR), *8*, 144-153.
28. Hussain, S.A., Farooq, M.A., Akhtar, J., & Saqib, Z.A. (2018). Silicon-mediated growth and yield improvement of sunflower (*Helianthus annus* L.) subjected to brackish water stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*, 180.
29. Shahmardan, M., Rahimi Petroudi, E., Daneshmand, A., & Mobasser, H. (2022). Effects of silicon and zinc sources on quantitative and qualitative characteristics of canola at normal and late planting dates. *Romanian Agricultural Research*, *39*, 1-14.
30. Bybordi, A. (2016). Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(7), 832-850.
31. Manaf, A., Shoukat, M., Sher, A., Qayyum, A., & Nawaz, A. (2020). Seed yield and fatty acid composition in sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by silicon application under a semi-arid climate. *Agrociencia*, *54*(3), 367-376.
32. Jamshidi Jam, B., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., & Dolatabadian, A. (2023). The effects of salicylic acid and silicon on safflower seed yield, oil content, and fatty acids composition under salinity stress. *Silicon*, *15*(9): 4081-4094.
33. Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). Effect of silicon on crop growth, yield and quality. In: Y. Liang, M. Nikolic, R. Bélanger, H. Gong & A. Song (eds.), Silicon in Agriculture: From Theory to Practice. Springer, Dordrecht.
34. Berquin, I.M., Edwards, I.J., & Chen, Y.Q. (2008). Multi-targeted therapy of cancer by omega-3 fatty acids. *Cancer Letters*, *269*(2): 363-377.
35. Smith, J. (2005). Safflower oil. Pp: 491-536. In: F. Shahidi (ed.), 6th ed., Bailey's Industrial Oil and Fat Products, John Wiley, New York.
36. Stehr, S.N., & Heller, A.R. (2006). Omega-3 fatty acid effects on biochemical indices following cancer surgery. *Clinica Chimica Acta*, *373*(1-2), 1-8.
37. Küçük, M., & Arslan, B. (2005). The nutrition value of safflower oil and its effect on human health. Pp. 363-369, In: E. Esendal (ed.), 6th International Safflower Conference, Kumburgaz, Istanbul.