Vol 26, No. 1, Spring 2024

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

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

The Effect of Silicon Foliar Application on Some Agronomic Traits of Camelina under Drought Stress Conditions

Nasrin Teimoori[1] | Mokhtar Ghobadi[2]✉ | Danial Kahrizi[3, 4]

1. Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: nasrin.teimoori@razi.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: ghobadi.m@razi.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: dkahrizi@razi.ac.ir
4. Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: dkahrizi@razi.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 10 May 2023
Received in revised form
01 October 2023
Accepted 21 October 2023
Published online 13 March 2024

Keywords:
Oilseed crop
Sodium silicate
Number of branches
Number of siliques
Total dry matter

ABSTRACT

Objective: The research aimed to investigate the effect of silicon foliar spraying in increasing drought tolerance in Camelina.

Methods: The experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete blocks design with three replications in a pot experiment. The treatments included two Camelina genotypes (Sohail cultivar and line-84), drought treatments (at two levels: without and with drought stress) and foliar spraying of sodium silicate (at five levels: 0, 2, 4, 6 and 8 mM).

Results: The results showed that drought stress decreased grain yield, yield components, and morphological traits of both Camelina genotypes. Drought stress reduced the grain weight per plant of the Sohail cultivar and Line-84 by about 27 and 39%, respectively. Foliar application of silicon effectively increased yield and yield components. On average, foliar spraying of 6 mM silicon compared to the control treatment caused an increase in the traits of grain weight per plant (13.04%), harvest index (12.1%), and the number of siliques per plant (7%). In the correlation analysis, it was found that among the grain yield components, the highest positive correlation coefficient with the grain weight per plant belonged to the number of siliques per plant (0.941).

Conclusion: Overall, it seems that foliar application of 6 mM silicon can be effective in increasing drought tolerance in Camelina.

Cite this article: Teimoori, N., Ghobadi, M., & Kahrizi, D. (2024). The Effect of Silicon Foliar Application on Some Agronomic Traits of Camelina under Drought Stress Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 26 (1), 125-144.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.359066.2811

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.359066.2811

دوره بیست و ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

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

تأثیر محلول‌پاشی برگی سیلیکون بر برخی صفات زراعی گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی

نسرین تیموری[۱] | مختار قبادی[۲]✉ | دانیال کهریزی[۳،۴]

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: nasrin.teimoori@razi.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: ghobadi.m@razi.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: dkahrizi@razi.ac.ir

۴. گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: dkahrizi@razi.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

کلیدواژه‌ها:

تعداد خورجین

تعداد شاخه

سیلیکات‌سدیم

گیاه دانه روغنی

ماده خشک کل

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیلیکون در افزایش تحمل به خشکی در گیاه کاملینا اجرا شد.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلدانی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش دو ژنوتیپ کاملینا (رقم سهیل و لاین-۸۴)، تیمار خشکی (دو سطح تنش خشکی و بدون تنش خشکی) و محلول‌پاشی برگی سیلیکات‌سدیم (پنج سطح صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که خشکی باعث کاهش صفات عملکرد دانه، اجزای آن و صفات مورفولوژیک هر دو ژنوتیپ کاملینا شد. تنش خشکی وزن دانه در بوته در رقم سهیل و لاین-۸۴ را به‌ترتیب ۲۷ و ۳۹ درصد کاهش داد. محلول‌پاشی برگی سیلیکون در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر بود. به‌طور میانگین، محلول‌پاشی سیلیکون در غلظت ۶ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش در صفات وزن دانه در بوته (۱۳/۰۴ درصد)، شاخص برداشت (۱۲/۱ درصد) و تعداد خورجین در بوته (۷ درصد) شد. در تجزیه همبستگی مشخص شد که در بین اجزای عملکرد دانه، بالاترین ضریب همبستگی مثبت با وزن دانه در بوته به صفت تعداد خورجین در بوته (۰/۹۴۱) تعلق داشت.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد که در گیاه کاملینا محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار می‌تواند در افزایش تحمل به خشکی مؤثر باشد.

استناد: تیموری، نسرین؛ قبادی، مختار و کهریزی، دانیال (۱۴۰۳). تأثیر محلول‌پاشی برگی سیلیکون بر برخی صفات زراعی گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۱)، ۱۲۵-۱۴۴. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.359066.2811

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

گیاهان دانه روغنی جزو مهم‌ترین محصولات کشاورزی هستند، زیرا با فرآورده‌های مختلف خود نه‌تنها قسمتی از نیازهای غذایی جوامع بشری را تأمین می‌کنند، بلکه مصارف صنعتی و دارویی نیز دارند (پارسا[1] و همکاران، ۲۰۱۷). کاملینا[2] یک گیاه روغنی از خانواده چلیپائیان[3] است (پوپا[4] و همکاران، ۲۰۱۷). کاملینا در قرن نوزدهم به شکل گسترده در اروپا کشت می‌شد، اما به دلایلی مانند جایگزینی با گیاهان پر محصول، تولید آن کاهش پیدا کرد و پس از جنگ جهانی دوم تقریباً کشت نشد (سوروکا[5] و همکاران، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر، توجه به کاملینا در سراسر جهان به‌دلیل نیاز به ورودی‌های کم (کم نهاده)، تحمل در برابر تنش‌های غیر زنده، ویژگی خاص روغن، خصوصیات کنجاله دانه، استفاده به‌عنوان غذای دام و سوخت زیستی افزایش یافته است (اسچلینگر[6]، ۲۰۱۹).

کشور ایران با کمبود منابع آبی مواجه بوده و از طرفی به واردات دانه‌های روغنی وابسته است (رستمی احمدوندی[7] و فقیهی[8]، ۲۰۲۱). براساس آمار فائو، تا سال ۲۰۲۵ چندین استان غرب کشور از جمله استان کرمانشاه تا حدود ۳۰ درصد دچار کاهش بارندگی خواهند شد (رستمی احمدوندی و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین کشت گیاه کم‌توقعی مثل کاملینا که با شرایط اقلیمی منطقه سازگار باشد از اهمیت بالایی برخوردار است (کهریزی[9] و همکاران، ۲۰۱۵). کشور ایران با درصد بالایی (بیش از ۷۰ درصد) دیمزار (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۱)، فاقد یک گیاه دانه روغنی مناسب برای شرایط دیم است. این در حالی است که ایران با شرایط خشکسالی، کاهش نزولات و بحرانی‌شدن سطح آب‌های زیرزمینی مواجه است. از طرفی، روغن خوراکی کشور به‌طور عمده (بیش از ۹۵ درصد) وارداتی است. به همین دلیل به گیاه دانه روغنی مناسب برای شرایط دیم کشور و با حداقل احتیاجات کودی و با مصرف آب کم‌تر نسبت به گیاهانی با مصرف بالا آب (مانند کلزا و سویا) نیاز می‌باشد (کهریزی و همکاران، ۱۳۹۵).

تنش خشکی موجب طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاه از متابولیسم سلولی تا تغییرات در نرخ رشد و بازده محصول می‌شود (ابوباتا[10]، ۲۰۲۰). تنش خشکی منجر به تولید فرآورده‌های زیان‌آوری شده که سبب به‌هم‌خوردن تعادل تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (بانو[11] و همکاران، ۲۰۲۱). ازآنجاکه گیاهان به‌طور متناوب در معرض تنش‌های محیطی مختلف از جمله تنش خشکی قرار می‌گیرند، در چنین شرایطی اغلب اوقات عدم تغذیه کافی از عناصر غذایی، اثر خشکی را تشدید و پیچیده کرده و گاهی می‌تواند در صورت تنش خیلی شدید، بقای گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (اوجودری[12] و همکاران، ۲۰۱۹).

سیلیکون بعد از اکسیژن دومین عنصر فراوان در خاک است (بالاخنینا[13] و بورکووسکا[14]، ۲۰۱۳). به‌دلیل این‌که سیلیکون به‌عنوان یک عنصر اساسی در گیاهان ذکر نشده، توجه زیادی به نقش بیولوژیک آن در گیاه نشده است (گیو[15]

1. Parsa
2. *Camelina sativa* L.
3. Brassicaceae
4. Popa
5. Soroka
6. Schillinger
7. Rostami Ahmadvandi
8. Faghihi
9. Kahrizi
10. Abobatta
11. Bano
12. Ojuederie
13. Balakhnina & Borkowska
14. Balakhnina & Borkowska
15. Guo

و همکاران، ۲۰۱۳). اگرچه سیلیکون غالباً برای رشدونمو گیاه غیرضروری است، اما جذب سیلیکون می‌تواند رشد گیاه را در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی تسهیل کند (ژنگ[1] و همکاران، ۲۰۱۷).

گیاه کاملینا در سال‌های اخیر، به‌دلیل کاربردهای مختلف و کم‌توقع‌بودن، موردتوجه قرار گرفته است. کشور ما دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. از یک سو، ایران نیازمند تولید محصولات روغنی بیش‌تر و با کیفیت‌تر بوده و از سوی دیگر درگیر مسائل و مشکلات تغییر اقلیم می‌باشد. با توجه به اینکه تنش خشکی یکی از مشکلات رایج و کاهنده عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و ایران می‌باشد. بنابراین راه‌کارهای مدیریتی جهت دستیابی به عملکرد مناسب و افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی دارای اهمیت است. لذا، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی تأثیر غلظت‌های سیلیکون بر تولید دانه، اجزای آن و خصوصیات مورفولوژیک دو ژنوتیپ کاملینا تحت شرایط تنش خشکی و عدم خشکی اجرا شد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

سیلیکون در القای رشد گیاهان و کاهش تنش‌های زیستی مانند بیماری‌های گیاهی، آفات، تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، سمیت فلزات و ... مفید بوده است (پرنده[2] و همکاران، ۲۰۱۳). گزارش شده که سیلیکون با افزایش میزان ظرفیت فتوسنتزی، تعداد برگ، میزان کلروفیل و میزان کربوهیدرات‌های محلول، موجب افزایش وزن ساقه در گیاه گردید (کاروالهو–زاناو[3] و همکاران، ۲۰۱۲). تأثیر مثبت سیلیکون در افزایش بیوماس تولیدی در گیاه ذرت در شرایط تنش گزارش شده است (پروین[4] و اشرف[5]، ۲۰۱۰). سیلیکون در بسیاری از موارد با تحریک رشد و افزایش در فعالیت برخی آنزیم‌ها، موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (بالاخنینا[6] و بورکووسکا[7]، ۲۰۱۳).

سیلیکون از طریق کاهش تعرق، تنش آبی را تخفیف می‌دهد. تعرق به‌طور عمده در برگ‌ها از طریق روزنه‌های هوایی و به‌صورت جزیی از کوتیکول صورت می‌گیرد. چنانچه سیلیکون در زیر کوتیکول برگ رسوب کند یک لایه مضاعف کوتیکول- سیلیکون تشکیل شده و تعرق از طریق کوتیکول احتمالاً به‌وسیله رسوب این عنصر کاهش می‌یابد (رودریگز[8] و همکاران، ۲۰۱۵).

کاربرد سیلیکون در گیاه گندم باعث بهبود وضعیت آب و در نتیجه تولید ماده خشک بیش‌تری در مقایسه با تیمار بدون سیلیکون تحت شرایط کمبود آب گردید (گانگ[9] و چن[10]، ۲۰۱۲). گزارش شده که کاربرد سیلیکون باعث کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در گیاهچه کلزا از طریق تنظیمات آنتی‌اکسیدانی، سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش تجمع پرولین شده است. هم‌چنین سیلیکون با کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، گیاهان تحت تنش خشکی را از آسیب اکسیداتیو محافظت کرده است (حسن‌الزمان[11]، ۲۰۱۸).

گزارش شده که ژنوتیپ‌ها و رقم‌های مختلف کاملینا تفاوت‌های زیادی از نظر تعداد خورجین در بوته دارند که این موضوع با تأثیر بر تعداد دانه در بوته، موجب ایجاد تفاوت‌های معنی‌دار در عملکرد نهایی دانه و هم‌چنین عملکرد روغن دانه این گیاه شده است (کانکووا[12] و همکاران، ۲۰۲۱).

1. Zhang
2. Parande
3. Carvalho-Zanão
4. Parveen & Ashraf
5. Parveen & Ashraf
6. Balakhnina
7. Borkowska
8. Rodrigues
9. Gong & Chen
10. Gong & Chen
11. Hasanuzzaman
12. Konkova

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در طی فصل رشد کاملینا و به‌صورت گلدانی اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار پیاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ژنوتیپ گیاه (رقم سهیل و لاین-۸۴)، شرایط رطوبتی (دو سطح بدون تنش خشکی (شاهد) و تنش خشکی) و محلول‌پاشی سیلیکون (پنج سطح صفر، ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار) بودند. گلدان‌های پلاستیکی با گنجایش ۱۰ کیلوگرم خاک با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. خاک به‌کاررفته مخلوطی از خاک زراعی، پرلیت و ماسه با نسبت ۱:۳:۶ بود. خاک زراعی پس از الک‌کردن، با ماسه و پرلیت مخلوط گردید و سپس بافت خاک اندازه‌گیری شد که دارای بافت خاک لومی شنی بود. گلدان‌ها با خاک مربوطه پر شدند. در هر گلدان ۲۰ عدد بذر در تاریخ هشتم آبان‌ماه سال ۱۳۹۹ کاشته شد. گیاهچه‌های سبزشده در مرحله دو تا سه برگی تنک شده و هشت گیاهچه هم‌اندازه در هر گلدان باقی ماند. به نسبت سطح هر گلدان کود سوپرفسفات‌تریپل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره ۱۰۰ کیلوکرم در هکتار در نظر گرفته شد. قبل از کاشت، کود سوپرفسفات‌تریپل با خاک گلدان مخلوط شد. کود نیتروژن به‌صورت سرک در مرحله سه برگی (بعد از عملیات تنک) و هم‌چنین در مرحله رشد طولی ساقه مصرف شد. معیار اعمال تیمار رطوبتی براساس انجام آبیاری در زمان تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده در خاک برای تیمار بدون تنش خشکی (شاهد) و آبیاری در زمان تخلیه ۷۵ درصد رطوبت قابل‌استفاده در خاک برای تیمار تنش خشکی بود (خزاعی و همکاران، ۱۳۸۷). بدین منظور، بعد از پرکردن همه گلدان‌ها با خاک و قبل از کاشت بذر، سه گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب و برای تعیین میزان رطوبت خاک در نظر گرفته شد. این سه گلدان تا رسیدن به نقطه اشباع خاک از آب، آبیاری شدند. پس از ۲۴ ساعت و خروج آب ثقلی، گلدان‌ها توزین گردیدند. رطوبت گلدان‌ها در این مرحله به‌روش وزنی اندازه‌گیری و به‌عنوان رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)[1] در نظر گرفته شد. بعد از ثبت زمان FC، هر روز در ساعت مشخصی، گلدان‌ها وزن شدند تا مرحله‌ای که تغییرات وزن گلدان‌ها تقریباً ناچیز شد. در این زمان، میزان رطوبت این گلدان‌ها، میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (PWP)[2] را نشان می‌دهد. میزان رطوبت قابل استفاده در خاک از تفاضل رطوبت PWP از رطوبت FC به‌دست آمد. بر این اساس، در مراحل بعدی از گلدان‌های دارای نمونه گیاهی با استفاده از دستگاه Soil Moisture Meter مدل PMS-714 رطوبت خاک در گلدان‌ها اندازه‌گیری شد و هنگامی که رطوبت خاک گلدان به محدوده موردنظر می‌رسید، آبیاری انجام می‌گردید. حجم آب آبیاری برای هر گلدان، به اندازه جبران رطوبت موجود در خاک تا حد FC بود. برای محلول‌پاشی سیلیکون از سیلیکات‌سدیم (ساخت شرکت سیگما، آمریکا) استفاده شد. با توجه به جرم مولی سیلیکات‌سدیم (۱۲۲/۰۶ گرم‌برمول)، لذا برای غلظت‌های فوق ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و یک گرم در لیتر استفاده شد. محلول‌پاشی برگی سیلیکون در سه نوبت اوایل، اواسط و اواخر رشد طولی‌ساقه (کدهای ۲۹، ۳۹ و ۶۰ BBCH) (مارتینلی[3] و گالاسو[4]، ۲۰۱۱) صورت گرفت. برداشت دانه در تیر ماه انجام شد که درصد رطوبت دانه به‌طور متوسط حدود ۱۲ درصد (کد ۸۹ BBCH) بود. در این آزمایش، صفات زیر اندازه‌گیری شدند.

ماده خشک کل: بوته‌های هر گلدان از سطح خاک بریده شده و پس از خشک‌کردن، توزین شدند و بر واحد گرم در بوته محاسبه شد.

وزن دانه در بوته: در مرحله رسیدگی دانه، دانه متعلق به بوته‌های هر گلدان برداشت شده و توزین شدند سپس بر تعداد بوته تقسیم شد و وزن دانه در بوته (گرم در بوته) به‌دست آمد.

1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point
3. Martinelli
4. Galasso

شاخص برداشت: از تقسیم وزن دانه در بوته بر ماده خشک بوته ضربدر عدد ۱۰۰ محاسبه شد.

ارتفاع ساقه: ساقه اصلی پنج بوته در هر گلدان به‌طور تصادفی انتخاب و طول ساقه از محل طوقه تا انتهای گیاه توسط خط‌کش برحسب سانتی‌متر ثبت شد.

تعداد خورجین در بوته: در بوته‌های برداشت‌شده، تعداد خورجین شمارش شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد خورجین در بوته تعیین شدند.

تعداد دانه در خورجین: در بوته‌های برداشت‌شده، دانه‌ها را از خورجین جدا کرده و شمارش شدند. تعداد دانه‌ها بر تعداد خورجین‌ها تقسیم شد تا تعداد دانه در خورجین حاصل شود.

تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ در بوته: در هر گلدان، شاخه‌های فرعی و برگ‌های مربوط به بوته‌ها شمارش شدند.

آزمون نرمال‌بودن داده‌ها قبل از تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای آماری MSTATC و SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن[1] در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Office Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده گردید.

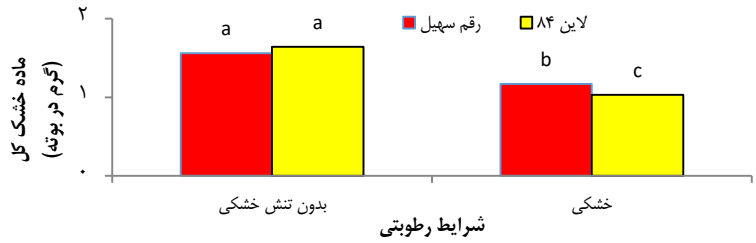
۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. وزن دانه در بوته و اجزای آن

ماده خشک کل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثر شرایط رطوبتی و ژنوتیپ×شرایط رطوبتی بر مقدار ماده خشک در گیاه کاملینا بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ نشان داد که ماده خشک کل در لاین-۸۴ در شرایط بدون تنش خشکی بیش‌تر از رقم سهیل بود، اما در شرایط تنش خشکی، رقم سهیل دارای ماده خشک بیش‌تری بود. در رقم سهیل و لاین-۸۴، تنش خشکی باعث کاهش ماده خشک کل به‌ترتیب به میزان ۲۵ و ۳۷ درصد شد (شکل ۱).

جدول ۱. میانگین مربعات اثرهای ژنوتیپ، خشکی، سیلیکون و اثرهای متقابل آن‌ها روی وزن دانه در بوته و اجزای آن در کاملینا

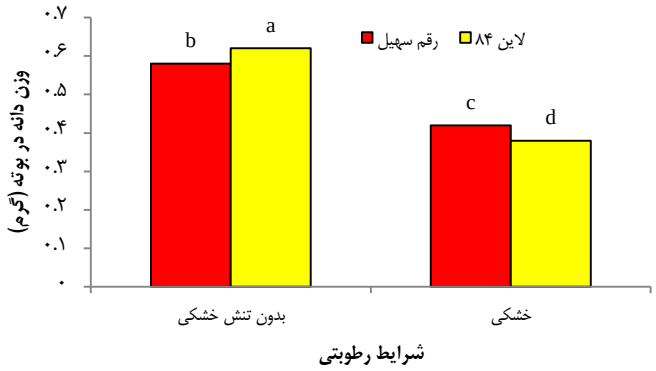
منابع تغییرات	درجه آزادی	مقایسه میانگین					
		ماده خشک کل	وزن دانه در بوته	شاخص برداشت	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه
تکرار	۲	۰/۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۸*	۶/۳۶۲**	۰/۸۲۲^{ns}	۶/۲۹۹**	۰/۰۱۳**
ژنوتیپ (G)	۱	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۸/۱۴۰**	۹۸/۹۴۵**	۳۱/۹۷۴**	۰/۰۲۳**
خشکی (D)	۱	۳/۷۸۰**	۰/۶۰۵**	۱۶/۶۶۴**	۲۱۷۵/۹۹**	۷/۲۱۱**	۰/۰۱۷**
G×D	۱	۰/۱۷۹**	۰/۰۲۰**	۲/۸۵۱^{ns}	۷۲/۸۴۲**	۰/۰۶۷^{ns}	۰/۰۱۷**



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ کاملینا از نظر ماده خشک کل (آزمون دانکن، P≤ ۰/۰۵)

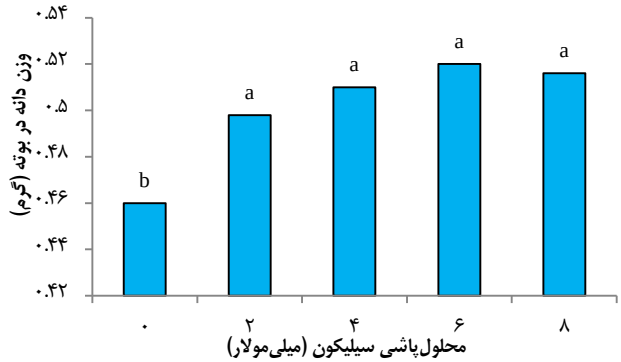
1. Duncan's multiple range test

وزن دانه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثر ساده شرایط رطوبتی و اثر متقابل ژنوتیپ× شرایط رطوبتی و تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۵) اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر وزن دانه در بوته بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین وزن دانه در بوته مربوط به لاین-۸۴ بدون تنش خشکی به میزان ۰/۶۲ گرم در بوته می‌باشد. وزن دانه در بوته لاین-۸۴ در شرایط بدون تنش خشکی بیش‌تر از رقم سهیل بود، اما در شرایط تنش خشکی، رقم سهیل دارای وزن دانه در بوته بیش‌تری بود. شرایط تنش خشکی باعث کاهش ۲۷ درصدی وزن دانه در بوته در رقم سهیل و ۳۹ درصدی در لاین-۸۴ شد. به‌نظر می‌رسد که رقم سهیل دارای مقاومت بیش‌تری به شرایط تنش خشکی بوده است (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ کاملینا از نظر وزن دانه در بوته (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

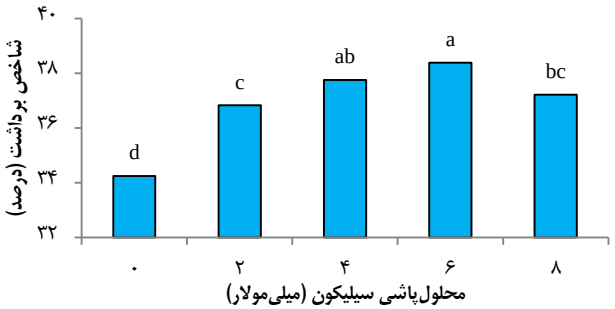
نتایج مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر وزن دانه در بوته نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن دانه در بوته در محلول‌پاشی سیلیکون در غلظت ۶ میلی‌مولار بود که با تیمارهای محلول‌پاشی‌شده با غلظت‌های ۲، ۴ و ۸ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی سیلیکون از نظر وزن دانه در بوته (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده ژنوتیپ، شرایط رطوبتی و سیلیکون بر شاخص برداشت معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بودند (جدول ۱). شاخص برداشت رقم سهیل و لاین-۸۴ به‌ترتیب ۳۶/۵۲ و ۳۷/۲۶ درصد به‌دست آمد. شاخص برداشت در شرایط بدون تنش خشکی معادل ۳۷/۴۱ درصد و در شرایط تنش خشکی ۳۶/۳۶ درصد

بود. نتایج مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر شاخص برداشت نشان داد که کم‌ترین مقدار شاخص برداشت مربوط به تیمار بدون محلول‌پاشی سیلیکون (شاهد) بود. با افزایش غلظت سیلیکون تا ۶ میلی‌مولار، شاخص برداشت افزایش یافت، اما در غلظت ۸ میلی‌مولار مقدار شاخص برداشت نسبت به تیمار ۶ میلی‌مولار کاهش یافت (شکل ۴). در آزمایش حاضر، تجزیه همبستگی‌ها نشان داد که وزن دانه در بوته دارای ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار با ماده خشک کل و شاخص برداشت به‌ترتیب ۰/۹۷۵ و ۰/۴۲۹ بود (جدول ۲).



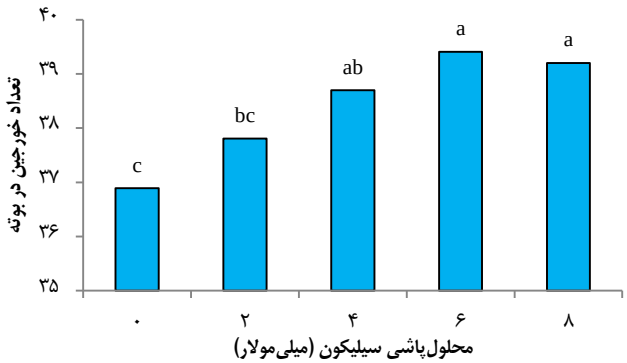
شکل ٤. مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی سیلیکون از نظر تعداد خورجین در بوته کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

تعداد خورجین در بوته: تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثرهای ژنوتیپ، شرایط رطوبتی، محلول‌پاشی سیلیکون و اثر متقابل ژنوتیپ× شرایط رطوبتی بر تعداد خورجین در بوته بود (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر تعداد خورجین در بوته نشان داد که بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته مربوط به محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار می‌باشد که اختلاف معنی‌داری با غلظت‌های ۸ و ۴ میلی‌مولار نداشت. محلول‌پاشی سیلیکون باعث افزایش تعداد خورجین در بوته شد، به‌طوری‌که در غلظت‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲، ۵، ۷ و ۶ درصد تعداد خورجین در بوته افزایش پیدا کرد (شکل ۵).

جدول ۲. ضرایب همبستگی میان صفات عملکرد دانه، اجزای عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک کاملینا

	ماده خشک کل (۱)	وزن دانه در بوته (۲)	شاخص برداشت (۳)	خورجین در بوته (٤)	دانه در خورجین (۵)	وزن هزاردانه (۶)	تعداد شاخه فرعی (۷)	خورجین در شاخه اصلی (۸)	خورجین در شاخه فرعی (۹)	ارتفاع ساقه (۱۰)	وزن ساقه (۱۱)	تعداد برگ (۱۲)	وزن برگ (۱۳)	
۱	۱	۰/۹۷۵**	۰/۲۲۴ns	۰/۹۲۲**	۰/۴۶۹**	۰/۵۰۸**	۰/۸۵۷**	۰/۷۳۱**	۰/۸۰۳**	۰/۲۶۶*	۰/۵۰۴**	۰/۴۹۵**	۰/۴۲۰**	۱
۲		۱	۰/۴۲۹**	۰/۹۴۱**	۰/۴۶۲**	۰/۴۹۷**	۰/۸۷۶**	۰/۷۷۶**	۰/۸۱۰**	۰/۳۳۱**	۰/۶۰۷**	۰/۶۱۱**	۰/۵۲۷**	۲
۳			۱	۰/۳۹۹**	۰/۰۸۷ns	۰/۱۳۸ns	۰/۴۹۱**	۰/۴۳۳**	۰/۳۰۰*	۰/۳۶۹**	۰/۶۴۶**	۰/۶۸۳**	۰/۶۴۱**	۳
۴				۱	۰/۱۸۳ns	۰/۵۵۶**	۰/۹۲۷**	۰/۶۷۸**	۰/۸۹۳**	۰/۱۶۷ns	۰/۶۴۲**	۰/۵۴۶**	۰/۴۲۷**	۴
۵					۱	−۰/۳۰۱*	۰/۲۹۸*	۰/۵۸۲**	−۰/۰۵۵ns	۰/۶۳۷**	۰/۱۲۱ns	۰/۳۱۵*	۰/۴۱۰**	۵
۶						۱	۰/۲۹۵*	۰/۱۸۱ns	۰/۷۷۰**	−۰/۱۹۴ns	۰/۲۸۴*	۰/۲۱۳ns	۰/۱۲۹ns	۶
۷							۱	۰/۷۱۵**	۰/۶۶۸**	۰/۲۸۲*	۰/۶۶۶**	۰/۵۵۷**	۰/۴۵۲**	۷
۸								۱	۰/۴۱۵**	۰/۵۰۰**	۰/۵۴۱**	۰/۵۱۰**	۰/۵۰۷**	۸
۹									۱	−۰/۰۳۸ns	۰/۱۴۸ns	۰/۴۱۴**	۰/۲۸۶*	۹
۱۰										۱	۰/۴۵۷**	۰/۵۵۷**	۰/۶۲۲**	۱۰
۱۱											۱	۰/۸۳۳**	۰/۷۶۹**	۱۱
۱۲												۱	۰/۸۶۷**	۱۲
۱۳													۱	۱۳

ns، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.



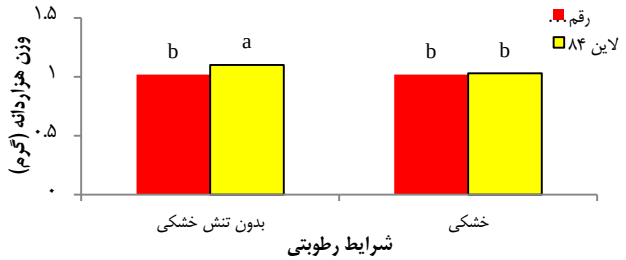
شکل ۵. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر تعداد خورجین در بوته کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ نشان داد که تعداد خورجین در بوته لاین-۸۴ بیش‌تر از رقم سهیل بود. تعداد خورجین در بوته رقم سهیل و لاین-۸۴ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش خشکی به‌ترتیب حدود ۲۳ و ۳۰ درصد کاهش یافتند (شکل ۶). نتایج تجزیه همبستگی‌ها در آزمایش حاضر نشان داد که وزن دانه در بوته دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار با تعداد خورجین در بوته (۰/۹۴۱)، تعداد دانه در خورجین (۰/۴۶۲) و وزن هزاردانه (۰/۴۹۷) بود (جدول ۲).

شکل ٦. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ کاملینا از نظر تعداد خورجین در بوته (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

تعداد دانه در خورجین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثرهای ژنوتیپ و شرایط رطوبتی بر تعداد دانه در خورجین کاملینا بود (جدول ۱). تعداد دانه در خورجین رقم سهیل و لاین-۸۴ به‌ترتیب ۱۳/۱۶ و ۱۱/۷ عدد به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر شرایط رطوبتی نشان داد که تعداد دانه در خورجین در شرایط بدون تنش خشکی معادل ۱۲/۷۸ و در شرایط تنش خشکی معادل ۱۲/۰۹ بود که نشان می‌دهد تنش خشکی باعث کاهش ۵ درصدی تعداد دانه در خورجین شده است.

وزن هزاردانه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثرهای ژنوتیپ، شرایط رطوبتی و ژنوتیپ× شرایط رطوبتی بر وزن هزاردانه بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی×ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به لاین-۸۴ در شرایط بدون تنش خشکی بود. شرایط تنش خشکی باعث کاهش ۳ درصدی وزن هزاردانه نسبت به شرایط عدم تنش شد (شکل ۷). وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن دانه در بوته (۰/۴۹۷) داشت (جدول ۲).



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی×ژنوتیپ کاملینا از نظر وزن هزاردانه (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

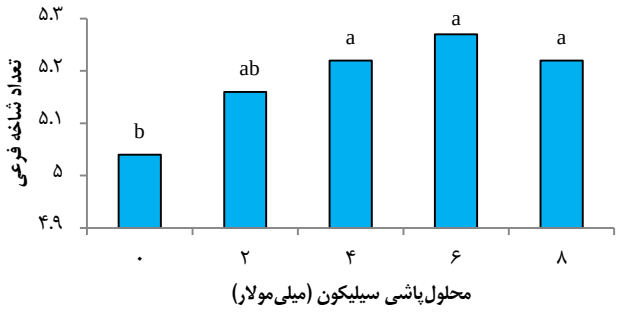
۴. ۲. خصوصیات مورفولوژیک

تعداد شاخه فرعی در بوته: تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر شرایط رطوبتی (P≤۰/۰۱) و محلول‌پاشی سیلیکون (P≤۰/۰۵) بر تعداد شاخه فرعی بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح سیلیکون نشان داد که بیش‌ترین شاخه فرعی مربوط به محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. محلول‌پاشی سیلیکون در غلظت‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار به‌ترتیب باعث افزایش ۲، ۴، ۵ و ۴ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۸). در تجزیه همبستگی‌ها مشخص شد که بالاترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در بوته با تعداد خورجین در بوته (۰/۹۲۷) مشاهده گردید (جدول ۲).

جدول۳. میانگین مربعات اثرهای ژنوتیپ، خشکی، سیلیکون و اثرهای متقابل آن‌ها از نظر صفات مورفولوژیک کاملینا

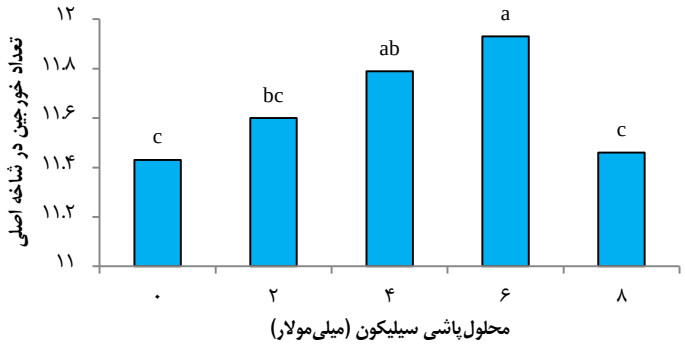
منابع تغییرات	درجه آزادی	مقایسه میانگین						
		تعداد شاخه فرعی	تعداد خورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی	ارتفاع ساقه	وزن خشک ساقه	تعداد برگ	وزن خشک برگ
تکرار	۲	۰/۲۶۸**	۱/۰۱۰**	۰/۶۹۹**	۹/۶۲۹^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۶/۲۰^{ns}	۰/۰۰۱*
ژنوتیپ (G)	۱	۰/۰۸۷^{ns}	۰/۹۵۳*	۲/۵۸۳**	۱۵۸۶/۲۰۴**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۳/۲۶۷^{ns}	۰/۰۰۱*
خشکی (D)	۱	۲۳/۶۱۳**	۱۶/۷۲۷**	۱۱/۴۳۲**	۱۹۶/۲۰۴**	۰/۰۳۶**	۲۰۱/۶۶**	۰/۰۰۷**
G×D	۱	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۲۲۱^{ns}	۲/۷۶۹**	۲۳/۴۳۸*	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۲۶۷^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
سیلیکون (Si)	۴	۰/۰۹۹*	۰/۵۵۵**	۰/۱۳۰^{ns}	۲۶۸/۳۰۶**	۰/۰۱۲**	۱۴۱/۶۹**	۰/۰۰۷**
Si×G	۴	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۱۴۵^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۲/۹۸۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۳/۳۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
Si×D	۴	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۲۶۶^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}	۱۱/۸۸۱^{ns}	۰/۰۰۰۲۵^{ns}	۱/۴۵۸^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}
G×D×Si	۴	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۳۳۰^{ns}	۰/۰۴۸^{ns}	۹/۵۱۰^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۴۷۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
خطا	۳۸	۰/۰۲۷	۰/۱۳۳	۰/۰۷۰	۴/۷۰۸	۰/۰۰۰۳	۲/۹۰۲	۰/۰۰۰۱۸
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۱۹	۳/۱۴	۵/۱۸	۳/۰۵	۲/۸۶	۸/۸۷	۱۲/۴۴

ns، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.



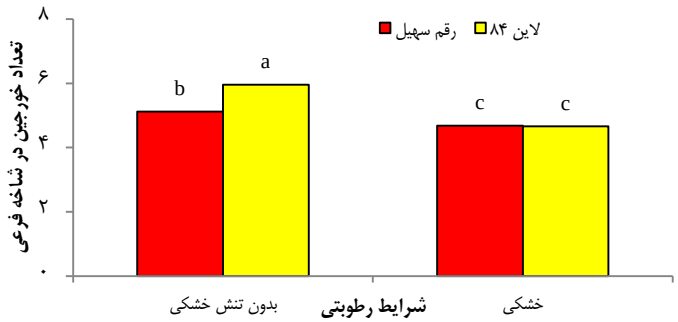
شکل ۸. مقایسه میانگین اثر سطوح سیلیکون از نظر تعداد شاخه فرعی کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

تعداد خورجین در شاخه اصلی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثر ژنوتیپ، شرایط رطوبتی و محلول‌پاشی سیلیکون بر تعداد خورجین در شاخه اصلی بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی سیلیکون نشان داد که بیش‌ترین تعداد خورجین در شاخه اصلی مربوط به تیمار محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار می‌باشد که با غلظت ۴ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی سیلیکون باعث افزایش تعداد خورجین در شاخه اصلی شد، به‌طوری‌که تیمارهای ۲، ۴ ، ۶ و ۸ میلی‌مولار به‌ترتیب باعث افزایش ۱، ۳، ۴ و ۰/۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۹).



شکل ۹. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر تعداد خورجین در شاخه اصلی کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

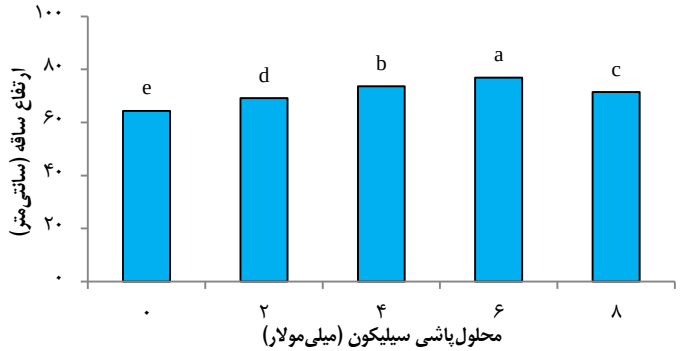
تعداد خورجین در شاخه فرعی: در تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثرهای ژنوتیپ، شرایط رطوبتی و ژنوتیپ× شرایط رطوبتی بر تعداد خورجین در شاخه فرعی معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی×ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین تعداد خورجین در شاخه فرعی مربوط به تیمار بدون تنش خشکی در لاین-۸۴ می‌باشد. شرایط تنش خشکی در هر دو ژنوتیپ باعث کاهش تعداد خورجین در شاخه فرعی گردید. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی، رقم سهیل و لاین-۸۴ به‌ترتیب باعث کاهش ۲۲ و ۹ درصدی تعداد خورجین در شاخه فرعی نسبت به شرایط عدم تنش خشکی شدند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ کاملینا از نظر تعداد خورجین درشاخه فرعی (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

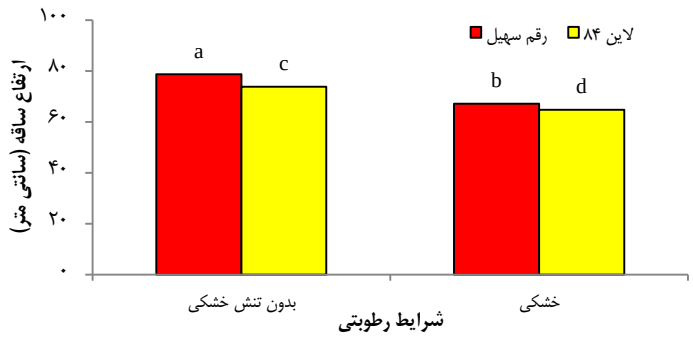
ارتفاع ساقه: در تجزیه واریانس داده‌ها، اثرهای ژنوتیپ، شرایط رطوبتی، محلول‌پاشی سیلیکون (P≤۰/۰۱) و اثر متقابل ژنوتیپ× شرایط رطوبتی (P≤۰/۰۵) بر ارتفاع ساقه معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی

سیلیکون نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع ساقه مربوط به تیمار محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار به اندازه ۷۶/۹۲ سانتی‌متر بود. محلول‌پاشی سیلیکون در غلظت ۶ میلی‌مولار نسبت به شاهد باعث افزایش ۱۲/۵۴ سانتی‌متری ارتفاع ساقه گردید (شکل ۱۱). بین ارتفاع ساقه و وزن دانه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۳۳۱) مشاهده شد. در آزمایش حاضر، ارتفاع ساقه دارای همبستگی غیرمعنی‌دار (۰/۱۶۷) با تعداد خورجین در بوته بود (جدول ۲).



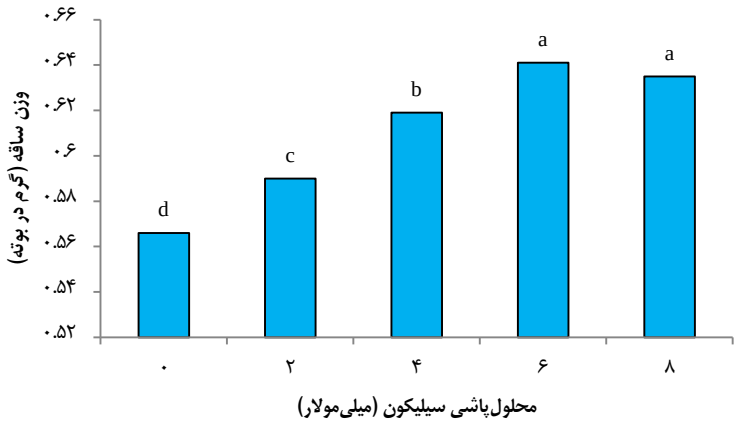
شکل ۱۱. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر ارتفاع ساقه کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ، بیش‌ترین ارتفاع ساقه مربوط به رقم سهیل بدون تنش خشکی به اندازه ۷۸/۶۷ سانتی‌متر می‌باشد. تنش خشکی باعث کاهش ۱۳/۴۸ درصدی ارتفاع ساقه شد (شکل ۱۲).



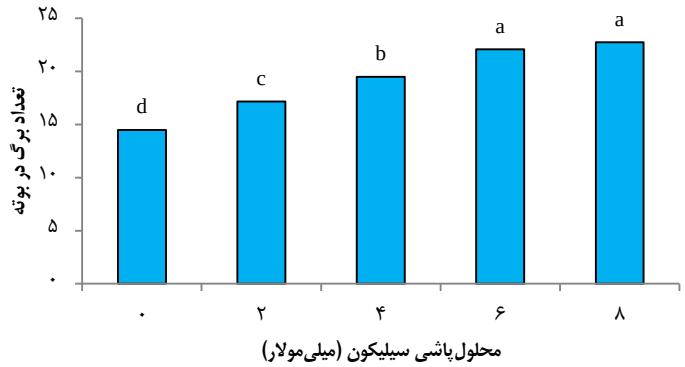
شکل ۱۲. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط رطوبتی× ژنوتیپ کاملینا از نظر ارتفاع ساقه (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

وزن خشک ساقه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثرهای شرایط رطوبتی و محلول‌پاشی سیلیکون بر وزن خشک ساقه کاملینا بود (جدول ۳). در مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی سیلیکون مشخص شد که وزن خشک ساقه در تیمار محلول‌پاشی سیلیکون افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمار محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار به میزان ۰/۶۴۱ گرم می‌باشد. کم‌ترین وزن خشک ساقه نیز در تیمار شاهد به میزان ۰/۵۶۶ گرم مشاهده گردید. محلول‌پاشی سیلیکون در غلظت‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌مولار باعث افزایش ۴، ۹، ۱۳ و ۱۲ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به شاهد شد (شکل ۱۳). وزن خشک ساقه در تیمار بدون تنش خشکی و تنش خشکی به‌ترتیب معادل ۰/۶۳۵ و ۰/۵۸۶ گرم به‌دست آمد که نشان می‌دهد تنش خشکی سبب کاهش وزن ساقه به میزان ۸ درصد شده است.



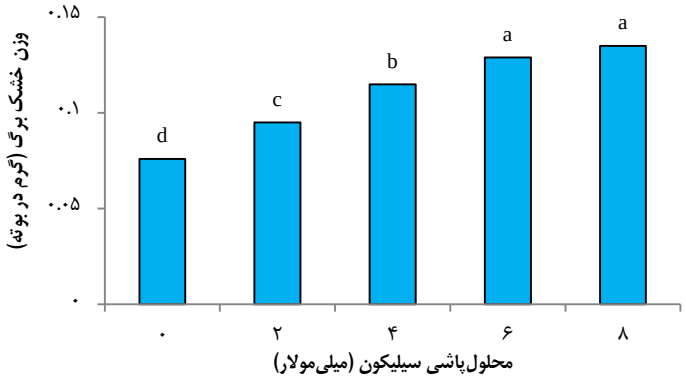
شکل ۱۳. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر وزن خشک ساقه کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

تعداد برگ در بوته: تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بودند (جدول ۳). در مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی سیلیکون، بیش‌ترین تعداد برگ مربوط به تیمار محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۸ میلی‌مولار بود که دارای اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آزمایشی (به‌غیر از تیمار ۶ میلی‌مولار) بود. محلول‌پاشی سیلیکون در تمام سطوح باعث افزایش تعداد برگ شد (شکل ۱۴). در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی به‌ترتیب ۲۱/۰۳ و ۱۷/۳۶ برگ در بوته تشکیل شد. بر این اساس، شرایط تنش رطوبتی باعث کاهش ۲۱ درصدی تعداد برگ در بوته گردید.



شکل ۱٤. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون از نظر تعداد برگ در بوته کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

وزن خشک برگ در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۱) اثرهای شرایط رطوبتی و محلول‌پاشی سیلیکون و تأثیر معنی‌دار (P≤۰/۰۵) ژنوتیپ بر وزن خشک برگ بود (جدول ۳). رقم سهیل دارای ۸ درصد وزن خشک برگ بیش‌تری نسبت به لاین-۸۴ بود. هم‌چنین در شرایط تنش خشکی (۰/۰۹۹ گرم در بوته) وزن خشک برگ به میزان ۱۸ درصد نسبت به شرایط عدم تنش خشکی (۰/۱۲۱ گرم در بوته) کاهش یافت. مقایسه میانگین سطوح محلول‌پاشی سیلیکون نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک برگ مربوط به محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۸ میلی‌مولار می‌باشد. محلول‌پاشی سیلیکون در تمام غلظت‌ها باعث افزایش وزن خشک برگ نسبت به شاهد گردید (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. مقایسه میانگین سطوح سیلیکون بر وزن خشک برگ در بوته کاملینا (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵)

۵. بحث

تنش خشکی باعث کاهش ماده خشک کل شد. در شرایط بدون تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری بین ماده خشک دو رقم نبود، اما در شرایط خشکی، ماده خشک رقم سهیل بیش‌تر بود. در پژوهشی، با بررسی عوامل مؤثر بر پتانسیل تولید دانه، روغن و ماده خشک گیاهان روغنی گزارش شد که رقم یکی از مؤلفه‌های مؤثر در عملکرد این گیاهان است (کراین[1] و همکاران، ۲۰۲۲). به‌طورکلی، معنی‌داربودن اثر ژنوتیپ بر ماده خشک کل به واکنش متفاوت وزن خشک در مراحل رشد رویشی و زایشی نسبت داده شده است (کوراسیاک–پوپووسکا[2] و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر، می‌توان چنین بیان نمود که ژنوتیپ دارای عملکرد بالاتر، به‌دلیل سازگاری بیش‌تر با شرایط تنش خشکی، احتمالاً از طریق بهره‌وری مطلوب‌تر از عوامل محیطی، رشد ساقه و اندام‌های هوایی را بهبود داده و منجر به افزایش وزن خشک نهایی شده است.

شرایط تنش خشکی در هر دو ژنوتیپ، وزن دانه در بوته را کاهش داد. در این آزمایش، تفاوت معنی‌دار ژنوتیپ‌های کاملینا از نظر تولید دانه، تا حد زیادی با اختلاف معنی‌دار در تعداد خورجین در بوته مرتبط بود. ابور[3] و همکاران (۲۰۱۷) تفاوت معنی‌داری در بین ارقام مختلف کاملینا، از نظر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گزارش کردند. ایشان با بررسی ویژگی‌های رشدی و عملکرد ارقام مختلف کاملینا در شرایط مزرعه، اختلاف معنی‌دار در عملکرد ارقام کاملینا را به تفاوت عمده این ارقام از نظر تعداد خورجین در بوته نسبت داده‌اند. نتایج واریچ[4] و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی رشد و عملکرد کاملینا در تیمارهای مختلف تاریخ کشت و آبیاری نشان داد که شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی، دوام سطح برگ، سرعت آسیمیلاسیون خالص و اجزای عملکرد هنگامی‌که تنش خشکی در طول دوره رشد اعمال شد کاهش یافتند.

محلول‌پاشی سیلیکون سبب افزایش وزن دانه در بوته شد. افزایش عملکرد دانه با مصرف سیلیکون به‌دلیل افزایش تعداد خورجین‌های بارور توسط هر گل‌آذین بوده است. مصرف سیلیکون موجب رشد رویشی گیاه می‌شود و این عامل موجب تحریک رشد جوانه‌های جانبی، افزایش تعداد خورجین در بوته و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌گردد ورما[5] و همکاران (۲۰۲۰). اثر مفید سیلیکون به تغییرات آناتومیکی به‌وسیله رسوب سیلیکون در دیواره سلولی نسبت داده شده است (باتووا[6] و همکاران، ۲۰۱۸).

1. Craine
2. Kurasiak-Popowska
3. Obour
4. Waraich
5. Verma
6. Bathoova

نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت، اما محلول‌پاشی سیلیکون سبب افزایش آن شد. شاخص برداشت مشخص‌کننده چگونگی تسهیم مواد پرورده بین بخش‌های رویشی و زایشی گیاه می‌باشد (نمالی[1] و همکاران، ۲۰۱۵). کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی، مشروط به کاهش بیش‌تر عملکرد اقتصادی در مقایسه با عملکرد بیولوژیک است. هدف از کشت گیاهان روغنی، دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و روغن در واحد سطح است. لذا، شاخص برداشت که نشان‌دهنده نسبت دانه به کل ماده خشک تولید شده است، یک ویژگی مهم در گیاهان دانه روغنی محسوب می‌شود (زانتی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). پتانسیل ژنتیکی و شرایط آب‌وهوایی، شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این راستا گزارش شده که در لاین‌های کم‌محصول کاملینا، طول دوره رشد رویشی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از طول دوره رشد زایشی کوتاه‌تر است و این موضوع (کوتاه‌بودن طول دوره رویشی) موجب تشکیل تعداد خورجین و دانه کم‌تر در بوته شده و در نتیجه عملکرد دانه و شاخص برداشت را کاهش می‌دهد (ماتئو[3] و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که وزن دانه در بوته دارای ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار با ماده خشک کل (۰/۴۲۹) و شاخص برداشت (۰/۹۷۵) بود. این نتایج حاکی از آن است که برای دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر، توجه و تمرکز روی ماده خشک کل نسبت به شاخص برداشت از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

در شرایط تنش خشکی، تعداد خورجین در بوته کاهش یافت. در شرایط تنش خشکی، افزایش غلظت سیلیکون باعث افزایش تعداد خورجین در بوته شد. بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته مربوط به محلول‌پاشی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار بود. کاهش فتوسنتز و ارسال فرآورده‌های فتوسنتزی به غلاف‌ها در اثر تنش خشکی، مهم‌ترین عامل کاهش تعداد غلاف و در نتیجه عملکرد دانه است. تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه اجزای تعیین‌کننده تولید دانه در گیاه کاملینا هستند (جیانگ[4] و کالدول[5]، ۲۰۱۶). در بین اجزای عملکرد، بیش‌ترین ضریب همبستگی با وزن دانه در بوته متعلق به تعداد خورجین در بوته (۰/۹۴۱) بود. در تأیید نتایج این آزمایش، گزارش شده که تعداد خورجین در بوته به‌عنوان مهم‌ترین جزء شکل‌گیری عملکرد دانه در کاملینا می‌باشد (هوانگ[6] و همکاران، ۲۰۲۱). به‌طوری‌که معمولاً هرچقدر تعداد خورجین بیش‌تر باشد عملکرد دانه افزایش می‌یابد و در تنش خشکی نیز تأثیرگذارترین جزء عملکرد در گیاه کاملینا است. هم‌چنین پوسته خورجین به‌دلیل آن‌که دارای کلروفیل است قابلیت انجام فتوسنتز داشته و در پر کردن دانه مؤثر است. وقوع تنش خشکی پس از مرحله گلدهی، با کاهش سطح برگ در بوته سبب می‌گردد که سهم خورجین در پر کردن دانه افزایش یابد (احمد[7] و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی دیگر که بر روی اجزای عملکرد دانه در کاملینا صورت گرفت، نشان داده شد که در این گیاه بین اجزای عملکرد دانه روابط معکوسی وجود دارد، به‌طوری‌که با تغییر اجزای عملکرد نمی‌توان میزان تولید نهایی دانه را از یک حد نهایی بالاتر برد (ابور[8] و همکاران، ۲۰۱۷).

تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در خورجین گردید. تعداد دانه در غلاف تأثیر به‌سزایی بر عملکرد نهایی دانه دارد (ناظری[9] و همکاران، ۲۰۱۸). تنش خشکی از طریق محدودیت در فراهمی مواد فتوسنتزی، بر گرده‌افشانی و باروری گلچه‌ها تأثیر گذاشته و باعث سقط گلچه‌ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود (مروجی[10] و همکاران،

1. Nemali
2. Zanetti
3. Matteo
4. Jiang
5. Caldwell
6. Huang
7. Ahmad
8. Obour
9. Nazeri
10. Moravveji

۲۰۱۶). مطالعه رابطه عملکرد دانه با اجزای عملکرد در شرایط محیطی مختلف می‌تواند به درک روابط موجود بین صفات مرتبط با عملکرد دانه کمک کند. در مطالعه حاضر، تعداد دانه در خورجین کاملینا همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن دانه در بوته داشت. بنا به گزارش کوراسیاک-پوپووسکا[1] و همکاران (۲۰۱۸)، تعداد دانه در خورجین کاملینا تحت تأثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد و توانایی ژنوتیپ‌های مختلف در تولید دانه متفاوت است. هم‌چنین گزارش شده است که در سطوح مختلف تنش خشکی، لاین‌هایی از کاملینا که توانایی بیش‌تری در حفظ نسبی تعداد دانه در خورجین داشته‌اند، توانستند اثر منفی خشکی بر عملکرد دانه را تا حدی کاهش دهند (قربانی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که در صورت کاهش یکی از اجزای عملکرد، اجزای دیگر در صدد جبران آن برمی‌آیند و ازآنجاکه وزن دانه، کم‌تر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (آنجلینی[3] و همکاران، ۲۰۲۰)، لذا قابلیت ژنوتیپ‌ها در تولید تعداد دانه در خورجین، تأثیر زیادی بر عملکرد نهایی گیاهان روغنی خواهد داشت. نتیجه پژوهش هوانگ[4] و همکاران (۲۰۲۱) حاکی از آن است که براساس روابط بین منبع و مخزن در گیاه کاملینا، تعداد بیش‌تر دانه سبب القای تقاضای بیش‌تر برای مواد فتوسنتزی شده و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی را افزایش می‌دهد.

در پژوهش حاضر، شرایط تنش خشکی باعث کاهش وزن هزاردانه شد. تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه از طریق تسریع پیری برگ، کاهش سرعت پرشدن دانه و کاهش دوره پرشدن دانه، باعث کاهش وزن هزاردانه و در نهایت کاهش عملکرد می‌گردد (سهگال[5] و همکاران، ۲۰۱۸). تنش خشکی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با تأثیر بر متابولیسم دانه باعث چروکیده‌شدن و کم‌شدن ذخایر دانه می‌گردد. در شرایط خشکی، میزان فتوسنتز جاری کاهش یافته و انتقال مواد برای پرشدن دانه کافی نخواهد بود. در چنین شرایطی، پر شدن دانه نیاز به انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه دارد، این انتقال کافی نبوده و موجب کاهش وزن دانه می‌گردد. به‌نظر می‌رسد که دلیل عدم تأثیرپذیری وزن هزاردانه در رقم سهیل در شرایط تنش خشکی، انتقال مجدد آسیمیلات ذخیره‌ای در ساقه به سمت دانه‌های در حال رشد این رقم باشد. نتایج پژوهش‌های گذشته حاکی از آن است که وزن هزاردانه در گیاه کاملینا کم‌تر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار گرفته و بیش‌تر تابع ویژگی‌های ژنوتیپی است (والیا[6] و همکاران، ۲۰۲۱). در این راستا گزارش شده است که اندازه نهایی دانه کاملینا در مقایسه با سایر اجزای عملکرد که زودتر تشکیل می‌شوند، کم‌تر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (زالوسکی[7] و همکاران، ۲۰۲۰). آنجلینی[8] و همکاران (۲۰۲۰) وزن هزاردانه را به‌عنوان دومین عامل تأثیرگذار (پس از تعداد خورجین در واحد سطح) بر عملکرد دانه کاملینا معرفی کرده و گزارش نمودند که عملکرد دانه توسط مواد فتوسنتزی قابل دسترس طی مرحله پرشدن دانه و تعداد دانه‌های رقابت‌کننده تعیین می‌شود. از این‌رو، یک راه مناسب جهت رسیدن به عملکرد مطلوب، این است که تا جایی که اندازه گیاه اجازه می‌دهد تعداد زیادی دانه در هر خورجین حفظ شده و سپس اجازه داده شود تا شرایط محیطی مناسب، سرعت و دوام پرشدن دانه را تعیین کند.

محلول‌پاشی سیلیکون باعث افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در شاخه اصلی، ارتفاع ساقه و وزن خشک ساقه گردید. به‌نظر می‌رسد افزایش تعداد شاخه فرعی در کاملینا می‌تواند از طریق افزایش تعداد خورجین موجب افزایش عملکرد دانه شود. از طرفی، افزایش تعداد شاخه فرعی از طریق افزایش تعداد دانه در واحد سطح، نقش بسیار

1. Kurasiak-Popowska
2. Ghorbani
3. Angelini
4. Huang
5. Sehgal
6. Walia
7. Załuski
8. Angelini

مهمی در افزایش عملکرد دانه در شرایط مطلوب و هم‌چنین کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی بر عملکرد دانه در شرایط نامطلوب دارد (ماتئو[1] و همکاران، ۲۰۲۰). تیموری[2] و همکاران (۲۰۲۳)، در بررسی بر روی گیاه کاملینا گزارش کردند که محلول‌پاشی سیلیکون سبب افزایش تعداد شاخه فرعی شد. به گزارش زالوسکی[3] و همکاران (۲۰۲۰)، با افزایش ارتفاع بوته در گیاه کاملینا، تعداد شاخه‌های جانبی افزایش یافته و این موضوع از طریق افزایش تعداد خورجین در واحد سطح باعث افزایش عملکرد دانه شده است. در پژوهشی که به‌منظور بررسی روابط میان عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا صورت گرفت، نشان داده شد که میان ارتفاع بوته و ویژگی‌های مربوط به طول دوره رشد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. دلیل ارائه‌شده برای این موضوع آن بود که ژنوتیپ‌های زودرس از ارتفاع کم‌تر و ژنوتیپ های دیررس از ارتفاع بیش‌تری برخوردار بودند (ابور[4] و همکاران، ۲۰۱۷).

شرایط تنش رطوبتی باعث کاهش تعداد برگ در بوته و وزن خشک برگ گردید. محلول‌پاشی سیلیکون در افزایش تعداد و وزن برگ مؤثر بود. سیلیکون با افزایش دی‌اکسیدکربن قابل‌تبادل و محتوای کلروفیل برگ، باعث افزایش کارایی فتوسنتز و ذخایر برگی می‌شود (حسین[5] و همکاران، ۲۰۲۱). هم‌چنین، سیلیکون با تأثیر مثبت بر جذب نیتروژن، بر وزن تر و خشک برگ اثر دارد (مقصودی[6] و همکاران، ۲۰۱۵).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه نشان داد که اثرهای تیمارهای خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون بر برخی از صفات مربوط به عملکرد دانه، اجزای آن و هم‌چنین ویژگی‌های مورفولوژیک کاملینا معنی‌دار بود. در اثر تنش خشکی ماده خشک کل (۳۳/۳۵ درصد)، وزن دانه در بوته (۳۲/۰۸ درصد)، شاخص برداشت (۲/۸ درصد)، تعداد خورجین در بوته (۲۷/۱ درصد)، تعداد دانه در خورجین (۵/۴ درصد)، وزن هزاردانه (۳/۳۱ درصد)، تعداد خورجین در شاخه فرعی (۲۵/۷۱ درصد)، ارتفاع ساقه (۱۳/۴۸ درصد)، وزن خشک ساقه (۷/۷۲ درصد)، تعداد برگ در بوته (۲۱ درصد) و وزن خشک برگ (۱۸/۱۹ درصد) کاهش یافتند.

در بین غلظت‌های سیلیکون به‌کاررفته، محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار مؤثرتر بود. محلول‌پاشی سیلیکون در غلظت ۶ میلی‌مولار در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ماده خشک کل (۴/۳۱ درصد) وزن دانه در بوته (۱۶/۳۴ درصد)، شاخص برداشت (۱۱/۴۶ درصد)، تعداد خورجین در بوته (۷/۲۱ درصد)، تعداد دانه در خورجین (۰/۶ درصد)، وزن هزاردانه (۳/۴۸ درصد)، تعداد شاخه فرعی (۵/۴۳ درصد)، تعداد خورجین در شاخه اصلی (۲/۳۸ درصد)، تعداد خورجین در شاخه فرعی (۴/۱۷ درصد)، ارتفاع ساقه (۱۶/۳۲ درصد)، وزن خشک ساقه (۱۲/۷۰ درصد)، تعداد برگ در بوته (۵۳/۱۹ درصد) و وزن خشک برگ (۵۳/۳۳ درصد) شد. به‌طورکلی، به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی برگی سیلیکون با غلظت ۶ میلی‌مولار توانایی کاهش اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه در گیاه کاملینا را داشته باشد.

هرچند محلول‌پاشی برگی سیلیکات‌سدیم در آزمایش حاضر در کاهش اثر تنش خشکی روی عملکرد دانه کاملینا مؤثر بود، با این‌حال، چنین پژوهش‌هایی روی گیاه کاملینا در ابتدای راه است. لذا، انجام پژوهش‌های بیش‌تر، به‌ویژه

1. Matteo
2. Teimoori
3. Załuski
4. Obour
5. Hussain
6. Maghsoudi

اثربخشی منابع دیگر تأمین سیلیکون برای گیاه (مثل سیلیکات‌پتاسیم) برای کاملینا پیشنهاد می‌گردد.

۷. تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد. بدین وسیله از اساتید محترم و کارکنان آزمایشگاه گروه مهندسی تولید ژنتیک و گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی تشکر و قدرانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

خزاعی، حمیدرضا؛ پارسا، مهدی و حسین‌پناهی، فرزاد (۱۳۸۷). اثرات تلقیح نژادهای بومی ریزوبیوم بر گره زایی ژنوتیپ‌های دسی و کابلی نخود تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی در مرحله رویشی (*Cicer arietinum* L.). *مجله پژوهش‌های زراعی ایران*. جلد ۶(۱)، ۱۸۹-۹۷.

کهریزی، دانیال؛ کاظمی تبار، سید کمال؛ سورنی، جهاد؛ رستمی احمدوندی، حسین؛ فلاح، فرشاد؛ اکبرآبادی، علی؛ رضیئی، زهرا و بخشم، مهرانگیز (۱۳۹۵، شهریور). معرفی گیاه روغنی- دارویی کاملینا برای شرایط دیم در ایران. *اولین همایش ملی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولیدات گیاهی*. ساری. ایران.

وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۱). *آمارنامه کشاورزی*، جلد اول، محصولات زراعی. تهران وزارت جهاد کشاورزی، ۱۰۰ صفحه.

References

Abobatta, W. F. (2020). Plant responses and tolerance to combined salt and drought stress. *Salt and Drought Stress Tolerance in Plants: Signaling Networks and Adaptive Mechanisms*, pp. 17-52. doi.:10.1007/978-3-030-40277-8_2

Ahmad, Z., Waraich, E. A., Barutcular, C., Alharby, H., Bamagoos, A., Kizilgeci, F., ... & El Sabagh, A. (2020). Enhancing drought tolerance in *Camelina sativa* L. and canola (*Brassica napus* L.) through application of selenium. *Pakistan Journal Botany*, *52*(6), 1927-1939.

Angelini, L. G., Abou Chehade, L., Foschi, L., & Tavarini, S. (2020). Performance and potentiality of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) genotypes in response to sowing date under Mediterranean environment. *Agronomy*. *10*(12), 1929-1937. DOI: 10.3390/agronomy10121929.

Balakhnina, T., & Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: a review. *International Agrophysics*, *27*(2), 225-232.

Bano, A., Gupta, A., Rai, S., Fatima, T., Sharma, S., & Pathak, N. (2021). Mechanistic role of reactive oxygen species and its regulation via the antioxidant system under environmental stress. *Plant Stress Physiology-Perspectives in Agriculture*, pp. 1-18. doi.: 10.5772/intechopen.101045

Bathoova, M., Bokor, B., Soukup, M., Lux, A., & Martinka, M. (2018). Silicon-mediated cell wall modifications of sorghum root exodermis and suppression of invasion by fungus Alternaria alternata. *Plant Pathology*, *67*(9), 1891-1900.

Carvalho-Zanão, M. P., Zanao Junior, L. A. Barbosa, J. G. Groosi, J. A. S., & Avila, V. T. (2012). Yield and shelf life of chrysanthemum in response to the silicon application. *Horticultura Brasileira, 30*, 403-408.

Craine, W., Lu, CH., Garrison Garneau, M., Bates, PH., & Hulbert, S. (2022). Registration of 'WA-LE1', an edible oil camelina cultivar. *Journal of Plant Registrations, 16*(2), 229-233. doi.: /10.1002/plr2.20205

Ghorbani, M., Kahrizi, D., & Chaghakaboodi, Z. (2020). Evaluation of *Camelina sativa* doubled haploid lines for the response to water-deficit stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, *2*,193-199.

Gong, H., & Chen, K. (2012). The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. *Acta Physiologiae Plantarum. 34*, 1589-1594.

Guo, Q., Meng, L., Mao, P., & Tian, X. (2013). Role of silicon in alleviating salt-induced toxicity in white clover. *Bulletin of environmental contamination and toxicology, 91*, 213-216.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T. L., Khan, M. L. R., & Fujita, M. (2018). Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in Brassica napus L. *South African Journal of Botany, 115*, 50-57.

Huang, P., H, Lili Abbas, A., Hussain, S., Du, D., Hafeez, M., Balooch, S., Noreen, Z., Ren, X., Muhammad, M., & 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

Hussain, S., Mumtaz, M., Manzoor, S., Shuxian, L., Ahmed, I., Skalicky, M., Brestic, M., Rastogi, A., Ulhassan, Z., Shafiq, I., & Allakhverdiev, S. I. (2021). Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. *Plant Physiology and Biochemistry, 159*, 43-52.

Jiang, Y., & Caldwell, CD. (2016). Effect of nitrogen fertilization on camelina seed yield, yield components, and downy mildew infection. *Canadian Journal of Plant Science, 96(1),* 17-26.

Kahrizi, D., Kazemitabar, SK., Soorni, J., Rostami-Ahmadvandi, H., Falah, F., Akbarabadi, A., Raziei, Z., & Bakhsham, M. (2016, September). *Introducing of camelina medicinal-oil plant for dryland conditions in Iran.* National Conference on the Impact of Climate Change on Plant Production. Sari, Iran. (In Persian).

Kahrizi, D., Rostami Ahmadvandi, H., & Akbarabadi, A. (2015). Feasibility Cultivation of Camelina (*Camelina sativa*) as Medicinal-Oil Plant in Rainfed Conditions in Kermanshah-Iran's First Report. *Journal of Medicinal Plants and By-products, 2*, 215-218.

Konkova, N. G., Shelenga, T. V., Gridnev, G. A., Dubovskaya, A. G., & Malyshev, L. (2021). Stability and variability of *camelina sativa* L. crantz economically valuable traits in various eco-geographical conditions of the Russian federation. *Agronomy, 11*(2), 332-340. doi.: 10.3390/agronomy11020332

Kurasiak-Popowska, D., Tomkowiak, A., Człopińska, M., Bocianowski, J., Weigt, D., & Nawracała, J. (2018). Analysis of yield and genetic similarity of Polish and Ukrainian Camelina sativa genotypes. *Industrial Crops and Products, 123*, 667-675. doi.:10.1016/j.indcrop.2018.07.001

Maghsoudi, K., Emam, Y., & Ashraf, M., (2015). Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. *Turkish Journal of Botany, 39*(4), 625-634.

Martinelli, T., & Galasso, I. (2011). Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology, 158*(1), 87-94.

Matteo, R., D'Avino, L., Ramirez-Cando, L. J., Pagnotta, E., Angelini, L. G., Spugnoli, P., & Lazzeri, L. (2020). Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) under low-input management systems in northern Italy: yields, chemical characterization and environmental sustainability. *Italian Journal of Agronomy, 15*(1519), 132-143. doi.:10.4081/ija.2020.1519

Ministry of agriculture-Jihad (2022). *Agricultural statistics*. First volume. *Crops*. Tehran, Ministry of agriculture-Jihad, pp. 100 (In Persian)

Moravveji, S., Zamani, GR., Kafi, M., & Alizadeh, Z. (2016). Effect of different salinity levels on yield and yield components of spring canola cultivars (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*B. juncea* L.). Environmental *Stresses in Agricultural Sciences, 10*(3), 445-457.

Nazeri, P., Shirani Rad, AH., ValadAbadi, SA., Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2018). Effect of sowing dates and late season water deficit stress on quantitative and qualitative traits of canola cultivars. *Outlook on Agriculture, 47*(4), 291-297.

Nemali, K. S., Bonin, C., Dohleman, F. G., Stephens, M., Reeves, W. R., Nelson, D. E., Castiglioni, P., Whitsel, J. E., Sammons, B., Silady, R. A., & Anstrom, D. (2015). Physiological responses related to increased grain yield under drought in the first biotechnology-derived drought-tolerant maize. *Plant, Cell & Environment, 38*(9), 1866-1880.

Obour, A. K., Obeng, E., Mohammed, Y. A., Ciampitti, I. A., Durrett, T. P., Aznar-Moreno, Jose A., & Chen, C. (2017). Camelina seed yield and fatty acids as influenced by genotype and environment. *Agronomy Journal, 109*(3), 947-957. doi:10.2134/agronj2016.05.0256.

Ojuederie, O. B., Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2019). Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. *Agronomy, 9*(11), 712.

Parande, S., Zamani, G. R., Zahan, M. H. S., & Ghader, M. (2013). Effects of silicon application on the yield and component of yield in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) under salinity stress. *International Journal of Agronomy and Plant Production, 4*, 1574-1579.

Parsa, B., Abbasdokht, H., Gholami, A., & Faraji, A. (2017) The Effect of Bradyrhizobium japonicum, Mycorrhiza and Chemical Fertilizer on Quantitative and Qualitative Characteristics of Soybean (*Glycine max* L. cultivar Katoul) in Condition of Presence and Absence of Weeds. *Weed Research Journal*, 9*(1)*, 33-48.

Parveen, N., & Ashraf, M. (2010). Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. *Pakistan Journal of Botany, 42*, 1675- 1684.

Popa, A. L., Jurcoane, S., & Dumitriu, B. (2017). Camelina sativa oil-a review. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, *21*, 233-238.

Rodrigues, F.A., Resende, R. S., Dallagnol, L. J., & E Datnoff, L. (2015). Silicon potentiates host defense mechanisms against infection by plant pathogens. *Silicon and plant diseases*, 109-138.

Rostami Ahmadvandi, H., & Faghihi, A. (2021). Adapted Oilseed Crops with the Ability to Grow Economically in Dryland Conditions in Iran. *Agrotechniques in Industrial Crops*, *1*(3), 122-128. 10.22126/ATIC.2021.6518.1015.

Rostami Ahmadvandi, H., Zeinodini, A., Ghobadi, R., & Gore, M. (2021). Benefits of Adding Camelina to Rainfed Crop Rotation in Iran: A Crop with High Drought Tolerance. *Agrotechniques in Industrial Crops, 1(2)*, 91-96.10.22126/ATIC. 2021. 6410. 1007.

Schillinger,W. F. (2019). Camelina: Long-term cropping systems research in a dry Mediterranean climate. *Field crops research*, *235*, 87-94.

Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., HanumanthaRao, B., Nair, R. M., Prasad, P. V., & Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in plant science*, *9*, 1705.

Soroka, J. J., Olivier, C., Wist, T. J., & Grenkow, L. (2017). Present and potential impacts of insects on camelina and crambe. In *Integrated management of insect pests on canola and other Brassica oilseed crops*, pp. 316-340. Wallingford UK: CABI

Teimoori, N., Ghobadi, M., & Kahrizi, D. (2023). Improving the Growth Characteristics and Grain Production of Camelina (*Camelina sativa* L.) under Salinity Stress by Silicon Foliar Application. *Agrotechniques in Industrial Crops, 3*(1), 1-13.

Verma, K. K., Song, X. P., Zeng, Y., Li, D. M., Guo, D. J., Rajput, V. D., Chen, G. L., Barakhov, A., Minkina, T. M., & Li, Y. R. (2020). Characteristics of leaf stomata and their relationship with photosynthesis in Saccharum officinarum under drought and silicon application. *ACS omega*, *5*(37), 24145-24153.

Walia, M. K., Zanetti, F., Gesch, R. W., Krzyżaniak, M., Eynck, C., Puttick, D., & Monti, A. (2021). Winter camelina seed quality in different growing environments across Northern America and Europe. *Industrial Crops and Products, 169*, 113639. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113639.

Waraich, EA., Ahmed, Z., Ahmad, R., & Shabbir, RN. (2017). Modulating the phenology and yield of camelina sativa L. by varying sowing dates under water deficit stress conditions. *Soil Environment, 36*(1), 84-92.

Załuski, D., Tworkowski, J., Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., & Kwiatkowski, J. (2020). The characterization of 10 spring Camelina genotypes grown in environmental conditions in North-Eastern Poland. *Agronomy*, *10*(1), 64-73. doi.: 10.3390/agronomy10010064

Zanetti, F., Gesch, R. W., Walia, M. K., Johnson, J. M. F., & Monti, A. (2020). Winter camelina root characteristics and yield performance under contrasting environmental conditions. *Field Crops Research, 252*, 107794. doi.:10.1016/j.fcr.2020.107794.

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*, *40*(15), 2224-2236.