Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

The effect of priming on physiological and yield characteristics of different sesame varieties under drought stress

Zargham Heidarieh[1], Abdolreza Jafari[*2], Hamid Reza Ebrahimi[3], Barmak Jafari Haghighi[4], Hamid Reza Miri[5]

1. Ph.D. Student of Agricultural Physiology Engineering, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. E-mail: zarghamheidarieh@gmail.com
2. Corresponding Author, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. E-mail: a.jafari@iaua.ac.ir
3. Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. E-mail: hre46@yahoo.com
4. Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. E-mail: barmak_jafari@yahoo.com
5. Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. E-mail: hmiri6@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.12.2021
Revised: 12.23.2021
Accepted: 03.25.2021

Keywords:
Drought,
Photosynthesis,
Priming,
Sesame,
Yield

ABSTRACT

Background and Objectives: Sesame is an important oilseed in which contains rich source of oil, protein, phosphorus and calcium. Drought is considered as the most obvious environmental factors in reducing the growth and yield of sesame in arid and semi-arid areas. Due to high economic importance of sesame from one hand, and high efficiency of priming and its cheapness to alleviate adverse effect of drought stress from other hand, the aim of present study was to evaluate drought stress and various priming methods on yield component and physiological features of three different sesames.

Materials and Methods: The study was conducted for two years in spilt plot factorial design with three replications in the farm of research center of Bushehr city. The main factor consisted drought stress in three levels of drought stress included irrigation after drainage of 45% FC (control or without stress), irrigation after drainage of 65% FC (mild stress) and irrigation after drainage of 85% FC (severe stress), five priming treatments included control (without priming), hydropriming, zinc sulphate, potassium sulphate and salicylic acid (SA) in three sesame verities (Oltan, Dararb 14, Karaj) were evaluated. Various yield and physiologic parameters such as chlorophyll content, soluble sugar and some antioxidant enzymes activities were investigated.

Results: According to the results, with increasing stress level, 1000 seed weight, harvest index, seed yield, capsule number, total chlorophyll, leaf area index, relative water content have shown decreasing while proline and soluble sugar have increased. Furthermore, it was found that priming had a significant impact on yield and physiological traits. The highest yield, harvest index and 1000 seed weight were respectively found in priming with SA 1153, 25.7 and 2.66 kilogram per hectare while the least were respectively reported in control treatment (without priming) 968, 23.8 and 2.51. Also Karaj and Oltan, respectively have shown the highest and the least seed yield 1269 and 889 kilogram per hectare. The highest proline content (1.29 mg/g FW) in Karaj variety and the lowest amount (1.17 mg/g FW) in Oltan veriety were shown. However, the highest soluble content (1.03 mg/g FW) in Oltan genotype and the least one (0.97 mg/g FW) in Karaj were reported. Also, the highest and lowest amount of relative water

content and total chlorophyll were in Karaj and Oltan verities, respectively. Moreover, the investigated cultivars had shown different responses in physiological traits. In general, Karaj and Oltan cultivars showed the highest and least term yield features.

Conclusion: Drought stress caused less sesame yield, but different genotypes reaction to stress were not the same. Although, desirable effects of seed priming with salicylic acid, $ZnSO_4$ and K_2SO_4, that by maintaining chlorophyll content and finally aid to photosynthesis process, was remarkable. In present research, Karaj verity was more resistant to drought stress. According to SA and zinc roles on photosynthesis, osmolytes synthesis in alleviating adverse effects of drought stress and on the other hand, desirable effect of priming on sesame growth and yield, using SA, zinc sulphate and potassium sulphate for increasing yield in region facing with drought stress are recommended.

Cite this article: Heidarieh, Zargham, Jafari, Abdolreza, Ebrahimi, Hamid Reza, Jafari Haghighi, Barmak, Miri, Hamid Reza. 2022. The effect of priming on physiological and yield characteristics of different sesame varieties under drought stress. *Journal of Plant Production Research*, 29 (3), 165-187.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.19647.2886
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

اثر پرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد ارقام مختلف کنجد تحت تنش خشکی

ضرغام حیدریه[۱]، عبدالرضا جعفری*[۲]، حمیدرضا ابراهیمی[۳]، برمک جعفری حقیقی[۴]، حمیدرضا میری[۵]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی کشاورزی- فیزیولوژی زراعی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: zarghamheidarieh@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: a.jafari@iaua.ac.ir

۳. واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: hre46@yahoo.com

۴. واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: barmak_jafari@yahoo.com

۵. واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: hmiri6@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۵

واژه‌های کلیدی:
پیش‌تیمار،
خشکی،
عملکرد،
فتوسنتز،
کنجد

چکیده

سابقه و هدف: کنجد از جمله مهم‌ترین دانه‌های روغنی می‌باشد که حاوی منابع غنی از روغن، پروتئین، فسفر و کلسیم است. تنش کم‌آبی از جمله بارزترین عومل محیطی کاهش رشد و عملکرد کنجد در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود. با توجه به اهمیت بالای اقتصادی کنجد از یک طرف، ارزانی و کارایی بالای پیش‌تیمار در تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی از طرف دیگر، پژوهش در این زمینه اهمیت خاصی دارد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تنش خشکی و روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر بر عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک سه رقم مختلف کنجد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به مدت دو سال و به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات استان بوشهر، انجام شد. عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح شامل آبیاری پس از تخلیه ۴۵ درصد ظرفیت زراعی (شاهد یا بدون تنش)، آبیاری پس از تخلیه ۶۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و آبیاری پس از تخلیه ۸۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید)، ۵ سطح پیش تیمار شامل شاهد (فاقد پیش‌تیمار)، پیش‌تیمار با آب، سولفات روی، سولفات پتاسیم و اسید سالیسیلیک و سه رقم کنجد (اولتان، داراب ۱۴ و کرج) مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای متعدد عملکردی و فیزیولوژیکی مانند میزان کلروفیل، قند محلول، فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و غیره مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: با توجه به نتایج، با افزایش سطح تنش، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه، تعداد کپسول در گیاه، کلروفیل کل، شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب روند نزولی داشت و میزان پرولین و قند محلول روند صعودی نشان داد. علاوه بر این مشخص شد که پیش‌تیمار تأثیر معنی‌داری بر صفات عملکردی و فیزیولوژیکی کنجد داشت. بیش‌ترین میزان عملکرد (۱۱۵۳ کیلوگرم در هکتار)، شاخص برداشت (۲۵/۷) و وزن هزاردانه (۲/۶۶ گرم) در شرایط پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک مشاهده شد در حالی‌که کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد (فاقد پرایمینگ) به ترتیب با عملکرد (۹۶۸ کیلوگرم در هکتار)، شاخص برداشت (۲۳/۸) و وزن هزاردانه (۲/۵۱ گرم) گزارش شد. هم‌چنین رقم کرج و اولتان به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه ۱۲۶۹ و ۸۸۹ کیلوگرم در هکتار را نشان دادند. در حالی‌که بیش‌ترین میزان پرولین در رقم کرج (۱/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کم‌ترین مقدار پرولین در رقم اولتان (۱/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. رقم اولتان بیش‌ترین میزان قند محلول (۱/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، را نشان داد در حالی‌که کم‌ترین میزان قند محلول، در رقم کرج (۰/۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) گزارش شد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین میزان محتوی نسبی آب و کلروفیل کل، به ترتیب در ارقام کرج و اولتان دیده شد. علاوه بر این ارقام آزمایشی واکنش‌های متفاوتی در برابر ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشان دادند. در اکثر صفات عملکردی رقم کرج و اولتان به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: تنش خشکی باعث کاهش عملکرد کنجد در همه ارقام شد اما واکنش ارقام مختلف کنجد به تنش خشکی یکسان نبود. تأثیرات مطلوب پرایمینگ بذور با اسید سالیسیلیک، سولفات روی و سولفات پتاسیم، از طریق حفظ میزان کلروفیل و نهایتاً کمک به فرایند فتوسنتز شدند، قابل ذکر بود. رقم کرج رقم مقاوم‌تری نسبت به تنش خشکی در پژوهش حاضر نشان داد. با توجه به نقش اسید سالیسیلیک و روی در فتوسنتز، سنتز اسمولیت‌ها در تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی و از طرفی تأثیر مطلوب پیش‌تیمار بر رشد و عملکرد کنجد توصیه می‌شود پرایمینگ با اسید سالیسیلیک، سولفات روی و پتاسیم جهت افزایش عملکرد در مناطقی که با تنش خشکی مواجه هستند، استفاده شود.

استناد: حیدریه، ضرغام، جعفری، عبدالرضا، ابراهیمی، حمیدرضا، جعفری حقیقی، برمک، میری، حمیدرضا (۱۴۰۱). اثر پرایمینگ بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد ارقام مختلف کنجد تحت تنش خشکی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۳)، ۱۸۷-۱۶۵.
DOI: 10.22069/JOPP.2022.19647.2886

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

کنجد[1] از جمله قدیمی‌ترین گیاهان سازگار شده به شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک می‌باشد (۱). داشتن منابع غنی از روغن و آنتی‌اکسیدانت، باعث شده لقب ملکه گیاهان روغنی به کنجد اختصاص یابد (۲). سازگاری به اکثر خاک‌ها و تغییرات شرایط آب و هوایی، دمای بالا، عدم نیاز به آب فراوان، عدم نیاز به سرمایه‌گذاری انبوه و مناسب بودن در تناوب زراعی از جمله عواملی است که کنجد را گیاهی مناسب جهت کشت در شرایط گرم و خشک می‌سازد (۳).

از طرفی با توجه به پدیده گرم شدن کره زمین و کاهش بارندگی سالانه، تنش خشکی معضلی بسیار مهم و جدی در زمینه کاهش تولید کمی و کیفی محصولات زراعی به‌شمار می‌رود (۴). اختلال یا توقف در فرایندهای فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی مانند تعرق، فتوسنتز، تنفس و فعالیت آنزیم‌های گیاهی از جمله اثرات مخرب تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاهان به‌شمار می‌رود (۵). الحرفی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند، تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل برگ و افزایش تخریب در چرخه متابولیسم سلول و اختلال در روند پروتئین‌سازی در کنجد، می‌شود (۶). کاهش رشد و نمو ناشی از تنش خشکی، به شدت و طول مدت تنش بستگی دارد (۷ و ۸).

جهت غلبه یا کنترل تنش کم‌آبی گیاهان، سازوکارهای فیزیولوژیکی، زیست شیمیایی و مولکولی متفاوتی به‌کار می‌برند (۹). افزایش میزان سنتز اسمولیت‌های محلول مانند پرولین، کربوهیدرات، قند محلول، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (مانند کاتالاز پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز)، از جمله راهکارهای کنترل‌کننده گیاهان، جهت تعدیل تنش خشکی می‌باشند (۱۰). جوانی‌زنی بذر، در ابتدای چرخه زندگی گیاه از جمله حساس‌ترین مراحل رشدی گیاهان زراعی، به تنش خشکی بوده و نقش حیاتی در تولید موفق محصول، ایفا می‌کند (۱۱). جوانه‌زنی و استقرار مطلوب، از جمله چالش‌های مهم اغلب کشاورزان در مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد، که در کنار سرعت و درصد جوانه‌زنی، از جمله عوامل مؤثر در عملکرد کلی محصول زراعی نقش مهمی ایفا می‌کنند (۱۲). قوه نامیه و کیفیت بالای بذر، علاوه بر استقرار مناسب، باعث تقویت گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی می‌شود (۱۳). پیش‌تیمار (پرایمینگ) بذور گیاهان زراعی، از جمله روش‌های مؤثر در جهت افزایش کیفیت گیاهچه تولیدی و نهایتاً بهره‌وری بالای محصول می‌شود (۱۴). پرایمینگ بذر از طریق تسریع خروج گیاهچه، درصد جوانه‌زنی افزایش، سرعت جوانه‌زنی و تعجیل توسعه ریشه باعث تحمل بهتر گیاهان زراعی به شرایط تنش خشکی می‌شود (۱۵).

اسید سالیسیلیک از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بوده، که باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر در محصولات مختلف می‌باشد (۱۶). سازوکار اسید سالیسیلیک در جهت مقاومت محصولات کشاورزی به تنش خشکی، از طریق روش‌هایی چون حفاظت غشا سلولی، افزایش سوخت‌وساز کربن، تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانت و رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌باشد (۱۷). از طرفی مشخص شده است که پیش‌تیمار بذرها با سولفات پتاسیم و سولفات روی، باعث تقویت شاخص‌های رشد گیاهچه و جوانه‌زنی، تحت شرایط تنش در گیاهان می‌شود (۱۸). پیش‌تیمار بذرهای سیاهدانه با نیترات پتاسیم ۲ درصد و سولفات روی ۰/۵ درصد، باعث افزایش سرعت درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر شد (۱۹). علی‌رغم کاهش میزان فتوسنتز، کلروفیل برگ و هدایت روزنه‌ای ناشی از

1- *Sesamum indicum*

تنش خشکی، پیش‌تیمار بذور شش اکوتیپ گندم با اسید سالیسیلیک نیم میلی‌مولار تحت تنش خشکی، اثرات معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و میزان کلروفیل برگ به همراه داشت (۲۰). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در ۷ رقم مختلف کنجد، در شرایط خشکی، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، وزن خشک و میزان کل کلروفیل ارقام تیمار شده در مقایسه با تیمار شاهد شد (۲۱). اسید سالیسیلیک با تغییر مثبت در فیتوهورمون‌های داخلی و تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی اثرات مثبتی در خصوصیات فتوسنتزی و مقاومت گیاه کنجد به تنش خشکی دارد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی سطوح مختلف پیش‌تیمار بر خصوصیات ظاهری، فیزیولوژیک و عملکردی برخی از مهم‌ترین ارقام کنجد و شناسایی مقاوم‌ترین رقم کنجد به تنش خشکی در شرایط آب و هوایی استان بوشهر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در مزرعه مرکز تحقیقات استان بوشهر (۲۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی) در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. مطالعه صورت گرفته به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل تنش خشکی در ۳ سطح آبیاری پس از تخلیه ۴۵ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری (بدون تنش)، آبیاری پس از تخلیه ۶۵ درصد و آبیاری پس از تخلیه ۸۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید)، عامل فرعی شامل پیش‌تیمار با آب اسیدسالیسیلیک، سولفات پتاسیم و سولفات روی به همراه ۳ رقم کنجد (اولتان، کرج و داراب ۱۴) می‌باشند. پنجم تیرماه، به عنوان تاریخ کشت انتخاب شد. فاصله بین دو محیط تنش خشکی و محیط بدون تنش طوری انتخاب شد که رطوبت بین دو محیط مجاور اثری بر روی یکدیگر نداشته باشند. جهت حاصلخیزی مناسب خاک، ۵۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره پس از تنک کردن بوته‌ها و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به همراه ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم پخش شد. در طی فصل رشد، وجین علف‌های هرز و تنک کردن توسط کارگر به‌صورت دستی انجام شد. فاصله بین خطوط کشت ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت بذور کنجد، ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر گرفته شد. کاشت به صورت جوی و پشته و آبیاری متداول منطقه انجام شد. اوایل آبان ماه برداشت کنجد انجام شد.

سطوح مختلف تنش خشکی از مرحله ۸ برگی تا انتهای دوره رشد کنجد اعمال شد.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک زمین کشت شده در جدول ۱ ذکر شده است.

نحوه اعمال سطوح تنش خشکی و پرایمینگ: آبیاری از زمان کاشت تا مرحله هشت برگی برای همه کرت‌ها به‌طور یکسان انجام شد. جهت تعیین پتانسیل آبی خاک پس از آبیاری چهارم، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مرتباً با استفاده از آگر نمونه خاک برداشت شد. ابتدا درصد وزنی رطوبت نمونه‌های خاک تعیین و پس از آن با استفاده از تانسیومتر و منحنی مکش رطوبتی خاک، پتانسیل آبی خاک برای همه کرت‌ها، روزانه تعیین گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physico-chemical characteristics of the studied soil.

خصوصیات خاک Soil Properties	سال ۱۳۹۷ 2018 year		سال ۱۳۹۸ 2019 year	
	عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)		عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	
	0-30	30-60	0-30	30-60
هدایت الکتریکی Electronic Conductivity (EC) ($mmos/cm^{-3}$)	3.04	3.02	3.16	3.1
اسیدیته خاک pH	7.1	7.1	7.02	7.03
نیتروژن (درصد) Nitrogen	0.091	0.032	0.084	0.034
فسفر (ppm) Phosphorous	11.4	6.3	11.1	6/9
پتاسیم (ppm) Potassium	219	154	193	122
بافت خاک Soil texture	لومی سیلتی Silt loam	لومی سیلتی Silt loam	لومی سیلتی Silt loam	لومی سیلتی Silt loam

با توجه به اطلاعات این نمونه‌برداری، پتانسیل رطوبتی خاک تیمار تنش در عمق ذکر شده بر حسب مگاپاسکال محاسبه و بر اساس تیمارهای تنش (۴۵، ۶۵ و ۸۰) آبیاری انجام شد. بذور آزمایشی از سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر تهیه شد. بذور سالم و یکنواخت جهت پرایمینگ انتخاب شدند. ابتدا ضدعفونی کردن سطحی بذور با استفاده از مرکوریک کلرید (۰/۰۱ درصد) و سپس شستشو با آب مقطر انجام شد. پس از خشک شدن بذور تیمارهای آزمایشی اعمال شد. جهت تهیه محلول تیمار پرایمینگ بذرها با اسید سالیسیلیک ۰/۱ میلی‌مولار، ۰/۰۱۳۸ گرم اسید سالیسیلیک (۲- هیدروکسی بنزویک اسید[1]، شرکت مرک، آلمان) در یک لیتر آب مقطر حل شد. از نمک سولفات روی (شرکت مرک، آلمان) و سولفات پتاسیم (شرکت مرک، آلمان) به‌عنوان منابع روی و پتاسیم استفاده شد.

سنجش عملکرد و اجزا عملکرد: ۱۰۰ روز پس از کاشت و اعمال تیمارها، در مرحله رسیدگی، ۱۰ بوته از هر کرت (پس از حذف اثر حاشیه‌ای) انتخاب و تعداد کپسول در بوته شمارش شد. جهت اندازه‌گیری وزن هزاردانه و عملکرد دانه از ترازوی دیجیتال (آنالایتیکال سری HC-A، ساخت انگلستان) استفاده شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)، براساس درصد، محاسبه شد.

1- 2-hydroxybenzoic acid $C_7H_6O_3$

سنجش صفات فیزیولوژیک: جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل ۲ گرم برگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹ درصد در هاون چینی سائیده و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل‌ها، توسط اسپکتروفتومتر (مدل ۱۶۰۱ شرکت Shimadzu، ژاپن)، در طول‌موج‌های ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر قرائت و محاسبه شد (۲۲).

سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (ADC Bioscientific ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری محتوی آب نسبی[1] از دستورالعمل فیلا و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد (۲۳). پس از توزین۵ گرم نمونه برگی، نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری و با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم در رابطه زیر RWC محاسبه شد.

$$RWC= Fw – Dw / Sw –Dw \times 100 \qquad (۱)$$

از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) جهت اندازه‌گیری میزان پرولین، پس از تهیه محلول اسید سولفوسالیسیلیک (۳/۳ درصد)، ۰/۵ گرم برگ تازه کنجد را با آن ترکیب سپس سانتریفیوژ کرده، عصاره حاصل با ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص، مخلوط و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم (در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. نهایتاً در طول موج ۵۲۰ نانومتر، سنجش انجام شد (۲۴). اندازه‌گیری میزان قند محلول با استفاده از روش بهینه‌سازی شده شارما و همکاران (۱۷) انجام شد. پس از تهیه عصاره با کمک اتانول ۹۵ درصد، سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه انجام، ۳ سی‌سی محلول آنترون اضافه شد و پس از ۱۰ دقیقه گذاشتن در حمام آب گرم، میزان جذب نور در طول موج ۶۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، اندازه‌گیری شد. غلظت قند احیا با استفاده از رنگ سنجی توسط دی نیتروسالیسیلیک اسید و گلوکز به عنوان محلول استاندارد انجام شد.

تجزیه واریانس مرکب بر اساس آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل (تنش خشکی به عنوان کرت اصلی و پرایمینگ و رقم به‌صورت فاکتوریل و به عنوان کرت فرعی) در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی، مقایسه میانگین با روش دانکن در سطح ۱ درصد، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ ترسیم شد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۲، اثرات اصلی پیش‌تیمار، رقم و تنش خشکی در تعداد کپسول در بوته، اختلاف معنی‌دار داشت. هم‌چنین در اثر متقابل تنش خشکی×رقم نیز در سطح ۱ درصد معنی‌داری مشخص شد.

1- Relative water content (RWC)

جدول ۲- میانگین مربعات تجزیه واریانس اجزای عملکرد، شاخص سطح برگ و عملکرد اندام هوایی.

Table 2. Mean square of composite analysis of variance of yield components, lead area index and shoot yield.

منابع تغییرات SV	درجه آزادی df	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	وزن هزاردانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد اندام هوایی Shoot yield
سال (Y) Year	1	563.33 ^{ns}	4.434 ^{ns}	278532**	112.91 ^{ns}	599819 ^{ns}
بلوک Y × Block	4	3082.36	0.498	5451	492.65	12178701
تنش خشکی (I) Drought stress	2	28569.88**	12.882**	16634070**	1161.22**	121980160**
Y × I	2	16.53 ^{ns}	0.046 ^{ns}	12412 ^{ns}	0.75 ^{ns}	61729 ^{ns}
خطای اصلی Main error	8	84.27	0.059	9458	14.36	1162598
پرایمینگ (P) Priming	4	573.05**	0.262**	280203**	32.76**	2322943**
رقم (C) Cultivar	2	4939.13**	3.661**	3288385**	205.19**	28168280**
P × C	8	25.09 ^{ns}	0.029 ^{ns}	7584 ^{ns}	7.32 ^{ns}	172948*
I × P	8	68.08 ^{ns}	0.031 ^{ns}	24625**	20.35*	378610**
I × C	4	1024.23**	1.057**	107405**	27.78*	1511268**
I × P × C	16	12.87 ^{ns}	0.016 ^{ns}	4098 ^{ns}	8.10 ^{ns}	140347 ^{ns}
Y × P	4	7.88 ^{ns}	0.001 ^{ns}	1610 ^{ns}	1.16 ^{ns}	1056 ^{ns}
Y × C	2	6.53 ^{ns}	0.016 ^{ns}	1238 ^{ns}	2.96 ^{ns}	21203 ^{ns}
Y × P × C	8	10.45 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3934 ^{ns}	1.39 ^{ns}	307 ^{ns}
Y × I × P	8	24.94 ^{ns}	0.001 ^{ns}	6042 ^{ns}	2.92 ^{ns}	111 ^{ns}
Y × I × C	4	22 ^{ns}	0.004 ^{ns}	449 ^{ns}	0.35 ^{ns}	1435 ^{ns}
Y × I × P × C	16	5.33 ^{ns}	0.001 ^{ns}	1631 ^{ns}	0.82 ^{ns}	314 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	168	73.90	0.024	8983	8/89	95876

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, ** and ^{ns} are respectively significant in 5, 10% and non-significant

اختلاف معنی‌داری در دو سال آزمایش بر صفات عملکردی دیده نشد (جدول ۲). تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌داری در تعداد کپسول در بوته ارقام مختلف کنجد شد (شکل ۱). در شرایط بدون تنش و تنش ملایم خشکی، در رقم کرج و اولتان به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد کپسول در بوته دیده شد (شکل ۱). داده‌های مطالعه حاضر با نتایج مهرابی و احسان‌زاده (۱۳۸۷) و محمدرضاخانی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد (۲۵). سینگ و همکاران (۲۶) در کنجد گزارش کردند، که از جمله تأثیرات تنش خشکی، کاهش رشد زایشی و ریزش گل‌ها و در نتیجه کاهش تعداد کپسول می‌باشد. علاوه بر این تنش خشکی طول دوره کپسول‌دهی را کوتاه می‌کند (۲۷).

در صفت وزن ۱۰۰۰ دانه، اثرات ساده پرایمینگ، تنش خشکی و رقم به همراه اثر متقابل رقم× تنش خشکی معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) گزارش شد. با این‌حال در میزان عملکرد دانه، علاوه بر معنی‌دار شدن اثرات ساده، اثرات متقابل رقم×پرایمینگ و رقم×تنش خشکی، نیز معنی‌داری داشت. وزن هزاردانه و عملکرد دانه، نیز با افزایش سطح تنش، روند نزولی داشت. تیمارهای مختلف پرایمینگ و ارقام کنجد اختلاف معنی‌داری، با یکدیگر نشان دادند (جدول ۲). بیش‌ترین وزن هزاردانه و عملکرد به‌ترتیب مربوط به پرایمینگ با سولفات روی (۲/۶۹ گرم) و اسید سالیسیلیک (۱۱۵۳ کیلوگرم در هکتار) بود، در حالی‌که رقم کرج، در دو صفت عملکردی فوق، بیش‌ترین مقدار را، ثبت کرد (جدول ۳). عدم معنی‌داری در اکثر صفات متقابل، می‌تواند ناشی از واکنش یکسان ارقام کنجد به تیمارهای مختلف پیش تیمار باشد.

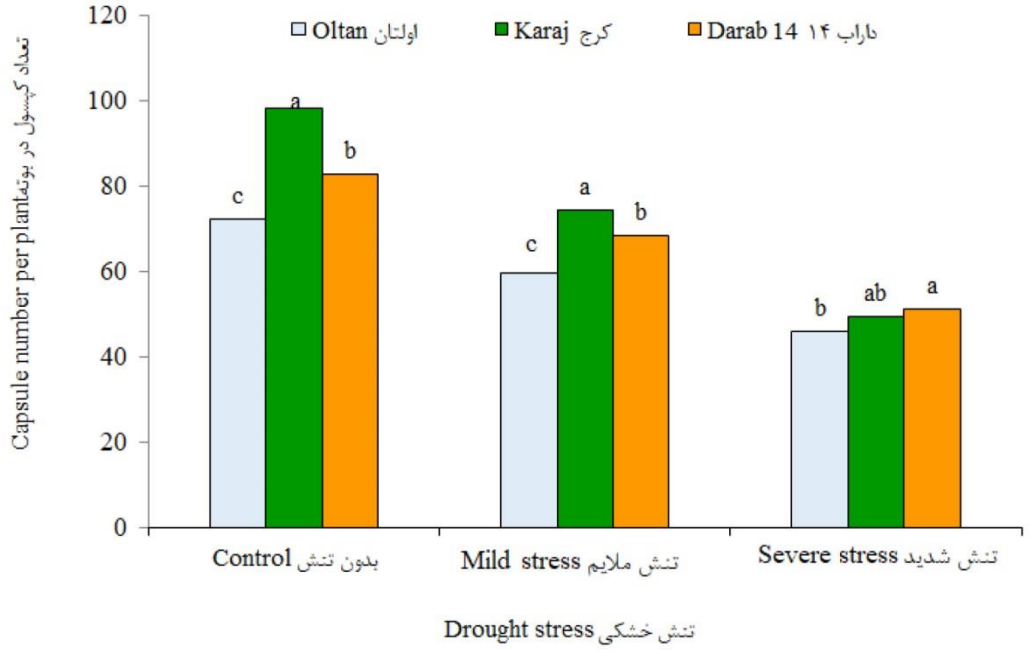
جدول ۳- مقایسات میانگین اثرات اصلی سال، تنش خشکی، پیش‌تیمار بذر و رقم برای صفات اجزای عملکرد کنجد شاخص سطح برگ و کلروفیل.

Table 3. Mean comparison of main effects of year, drought stress, priming seeds and variety of analysis of variance of yield components, lead area index and chlorophyll.

تیمار Treatment	تعداد کپسول در گیاه Capsule number per plant	وزن هزاردانه (گرم) 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain seed (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار) Shoot yield (kg/ha)
سال اول (First year)	65.4 a	2.76 a	1117 a	25.3 a	2.83 a	4391 a
سال دوم (Second year)	68.3 a	2.50 a	1053 a	23.9 a	2.77 a	4297 b
تنش خشکی (Drought stress)						
شاهد (Control)	84.4 a	3 a	1522 a	27.7 a	4/28 a	5557 a
تنش ملایم (Mild stress)	67.4 b	2.63 b	1070 b	25.5 b	2.45 b	4239 b
تنش شدید (Severe stress)	48.8 c	2.25 c	662 c	20.7 c	1.67 c	3235 c
پرایمینگ بذر (Seed priming)						
شاهد (Control)	61.9 c	2.51 b	968 d	23.8 c	2.56 c	3893 d
پرایم با آب (Hydropriming)	67.8 ab	2.65 a	1103 bc	24.7 abc	2.76 b	4407 bc
سالیسیلیک اسید (SA)	70.4 a	2.66 a	1153 a	25.7 a	2.84 b	4469 a
پتاسیم (K)	65.6 b	2.64 a	1071 c	23.9 bc	2.82 b	4368 c
روی (Zn)	68.5 ab	2.69 a	1129 ab	25 ab	3.03 a	4492 ab
رقم (Variety)						
اولتان (Oltan)	59.2 c	2.41 c	889 c	22.9 b	2.84 a	3809 c
کرج (Karaj)	73.9 a	2.82 a	1269 a	25.6 a	2.75 b	4925 a
داراب ۱۴ (Darab 14)	67.5 b	2.65 b	1095 b	25.3 a	2.82 a	4298 b

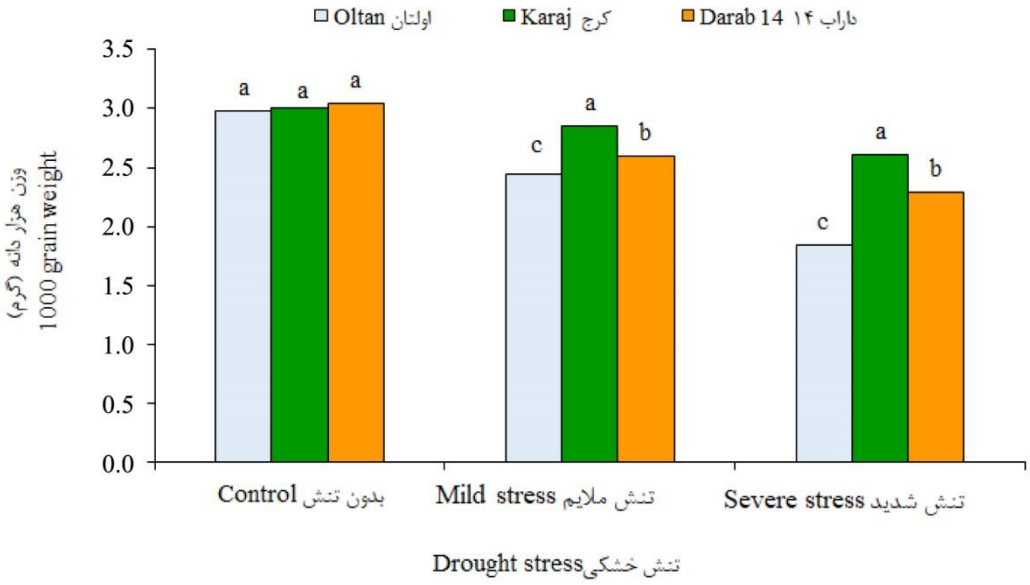
حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن است

Based on Duncan test same letters in each column indicate non-significant



شکل ۱- مقایسه میانگین ارقام کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی برای تعداد کپسول در بوته.

Fig. 1. Mean comparison of sesame cultivars in different drought stress for capsule number per plant.

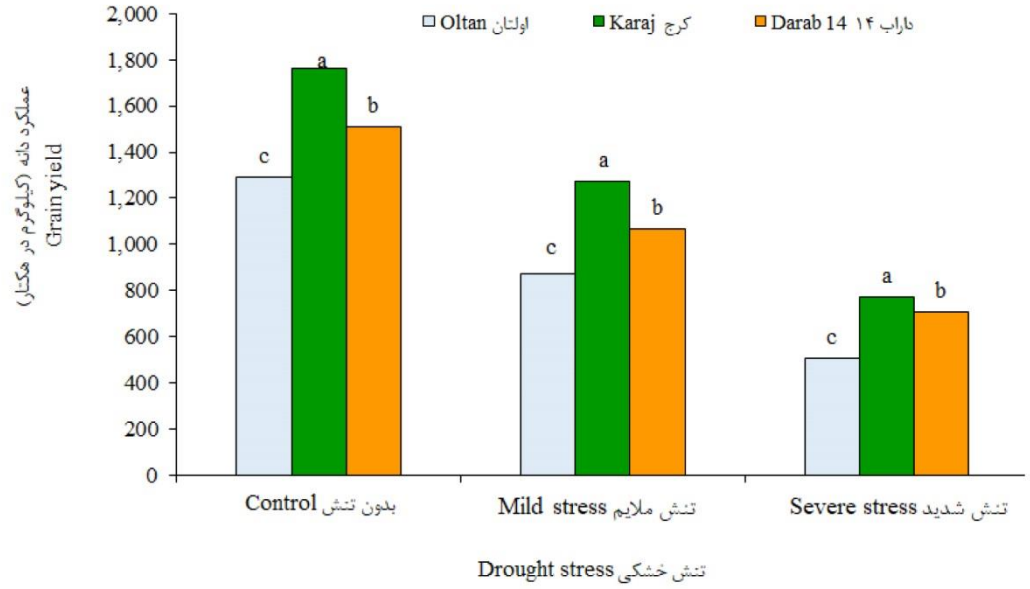


شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی برای وزن هزاردانه.

Fig. 2. Mean comparison of interaction effect of sesame cultivars in different drought levels stress for 1000 grain weight.

با توجه به شکل ۲، با افزایش سطح تنش خشکی، وزن ۱۰۰۰ دانه روند نزولی داشته که نتایج فوق با گزارش‌های یوسف‌زاده نجف‌آبادی و احسان‌زاده (۲۰۱۸) در کنجد مبنی بر تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در برابر تنش خشکی منطبق بود.

عملکرد دانه ارقام کنجد، تحت‌تأثیر تنش خشکی روند نزولی معنی‌داری دارد (شکل ۳). با این‌حال عکس‌العمل ارقام نسبت به تنش خشکی به یک میزان نبوده است. در بین ارقام، رقم کرج بیش‌ترین میزان عملکرد دانه و رقم اولتان کم‌ترین میزان را داشتند. در شرایط تنش کم‌آبی، به‌علت محدودیت تولید و انتقال ترکیبات فتوسنتزی و هم‌چنین رقابت بالا در بین اندام‌های زایشی و رویشی، وزن هزاردانه و در نتیجه عملکرد دانه به شدت کاهش می‌یابد (۲۸). اسید سالیسیلیک با افزایش هدایت روزنه‌ای، منجر به افزایش آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن و نهایتاً وزن هزاردانه، تعداد کپسول در بوته و وزن خشک می‌شود (۲۹). روی و پتاسیم از طریق افزایش میزان رطوبت نسبی باعث بهبود فاز رویشی و زایشی گیاه، در جهت تحمل به تنش خشکی می‌شود (۳۰). عنصر روی با شرکت در بیش از ۳۰۰ آنزیم درگیر در سوخت‌وساز و فتوسنتز، نقش مهمی در تقویت فتوسنتز و تجمع مواد آلی جهت رشد زایشی تشکیل دانه و عملکرد نهایی دارد (۳۱). از طرف دیگر اسیدسالیسیلیک با بهبود پارامترهای فتوسنتزی مانند پتانسیل آب برگ، محتوی آب نسبی، شاخص پایداری غشا و کلروفیل باعث افزایش ماده خشک و وزن هزاردانه در کلزا شد (۳۲).

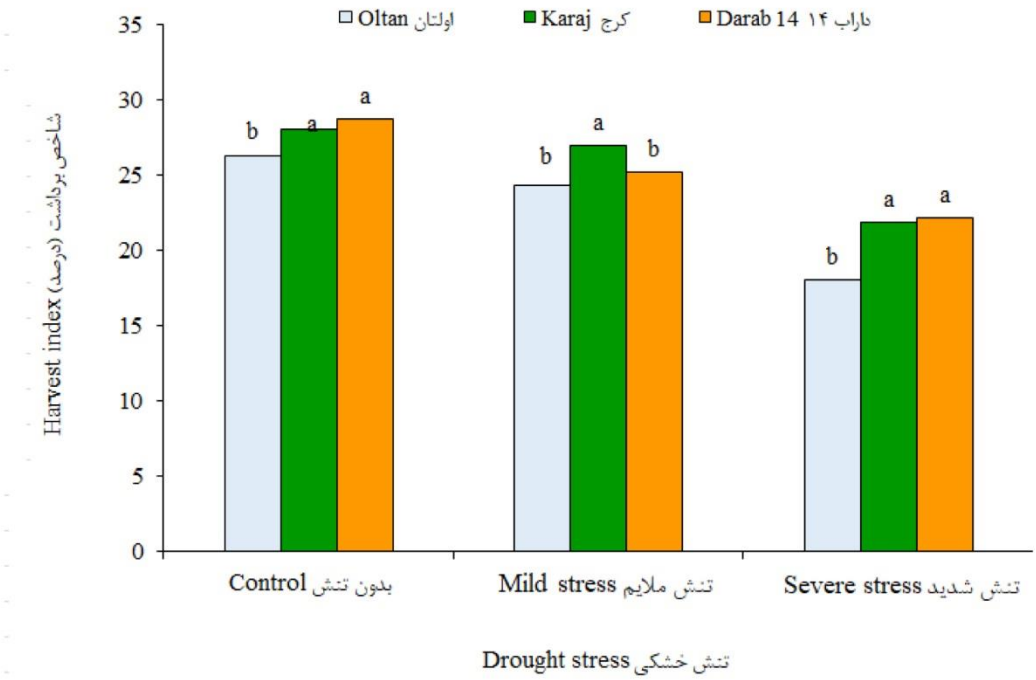


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی برای عملکرد دانه.

Fig. 3. Mean comparison of interaction effect of sesame cultivars in different drought levels stress for yield grain.

اختلاف معنی‌دار (در سطح ۱ درصد)، در اثرات ساده تنش خشکی و پرایمینگ به همراه رقم (در سطح ۵ درصد)، در صفت شاخص برداشت، وجود داشت. اثرات متقابل دوگانه صفت فوق، مانند تنش خشکی×رقم و تنش خشکی× پرایمینگ (در سطح ۵ درصد) معنی‌دار بودند (جدول ۲). شاخص برداشت

با افزایش شدت تنش خشکی، روند کاهشی نشان داد (جدول ۳). بیش‌ترین شاخص برداشت در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک (۲۵/۷ درصد)، و کم‌ترین در تیمار شاهد (۲۳/۸ درصد) مشاهده شد. هم‌چنین رقم کرج (۲۵/۶ درصد) نسبت به ارقام داراب ۱۴ و اولتان شاخص برداشت بیش‌تری داشت (جدول ۳).



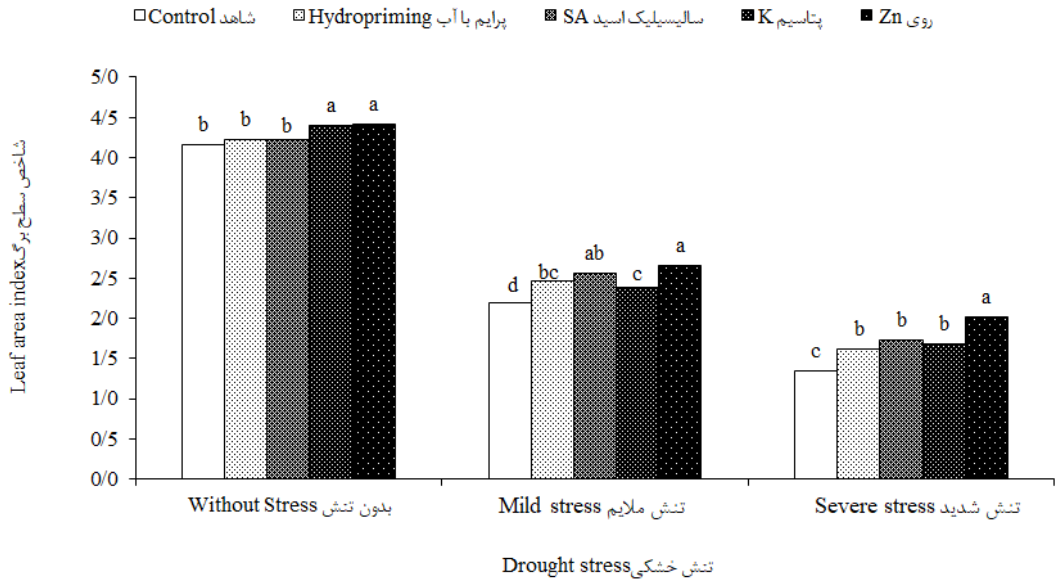
شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در شاخص برداشت.

Fig. 4. Mean comparison of interaction effect of sesame cultivars in different drought levels stress in harvest index.

شاخص برداشت نشان‌دهنده کارایی انتقال مواد حاصل از فتوسنتز به دانه گیاه است. این شاخص با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد (۳۳). مشخص شده است کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک، سولفات پتاسیم و سولفات روی باعث افزایش غلظت رنگدانه‌ها و ترکیبات فتوسنتزی می‌شود، که رابطه مستقیمی با متابولیسم نیترات در بافت‌ها و در نتیجه افزایش ماده خشک و شاخص برداشت را به همراه دارد (۳۰ و ۳۴). تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف تنش خشکی، بستگی به تأثیر تنش بر اندام‌های رویشی و دانه دارد. در واقع، اگر تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیش‌تر از عملکرد دانه باشد، با افزایش شدت تنش، شاخص برداشت افزایش می‌یابد، اما در پژوهش حاضر، تنش خشکی بر عملکرد دانه تأثیر بیش‌تری نشان داد که در این حالت افزایش شدت تنش خشکی (از تیمار شاهد به تنش شدید) منجر به کاهش شاخص برداشت شد.

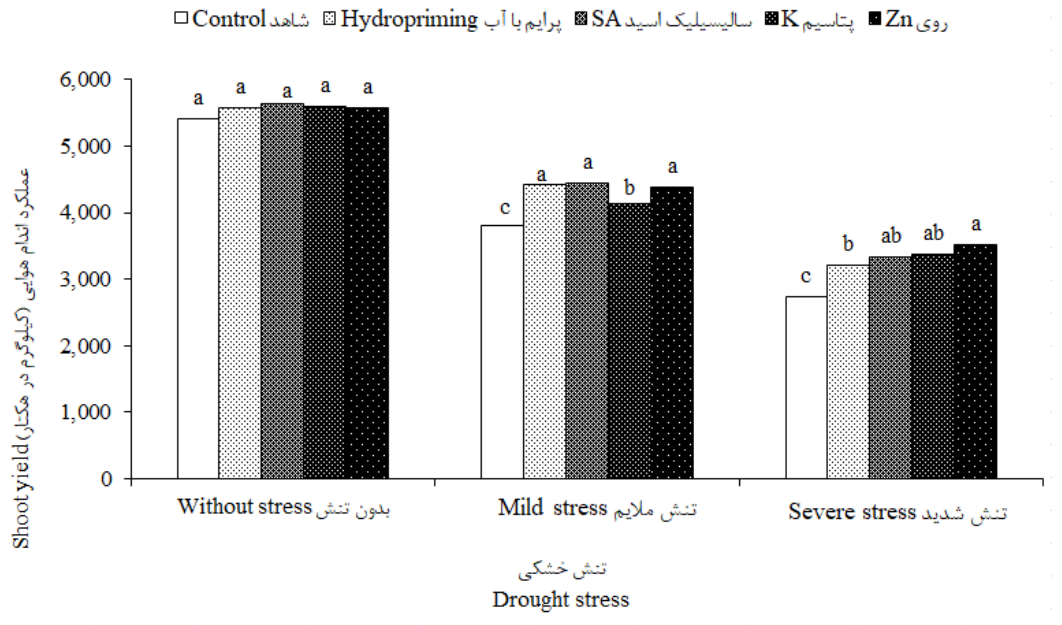
انواع مختلف پیش‌تیمار باعث تأثیرات معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد، در شاخص سطح برگ در مطالعه حاضر نشان دادند (جدول‌های ۱ و ۲). شاخص سطح برگ با افزایش میزان تنش خشکی روند کاهشی پیدا کرده طوری‌که بیش‌ترین میزان در تیمار سولفات روی (۳/۰۳) و کم‌ترین در تیمار شاهد (۲/۵۶) دیده شد. علاوه بر این، روش‌های مختلف

پرایمینگ نیز واکنش‌های متفاوتی در برابر تن خشکی نشان دادند (شکل ۵). در تیمار شاهد (فاقد تنش) پرایمینگ با سولفات روی و پتاسیم و در تیمارهای حاوی تنش خشکی، پرایمینگ با سولفات روی، تأثیر معنی‌داری نسبت به سایر پیش‌تیمارها نشان داد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل روش‌های مختلف پرایمینگ کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در شاخص سطح برگ.

Fig. 5. Mean comparison of interaction effect of different priming methods in different drought levels stress in leaf area index.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل روش‌های مختلف پرایمینگ کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در عملکرد اندام هوایی.

Fig. 6. Mean comparison of interaction effect of different priming methods in different drought levels stress in shoot yield.

با توجه به شکل ۶، تیمارهای مختلف پرایمینگ اختلاف معنی‌داری در تیمار شاهد (فاقد تنش خشکی) نشان ندادند، در حالی‌که با افزایش شدت تنش خشکی، در مقایسه با شاهد (فاقد پرایمینگ)، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. طی تنش ملایم خشکی، پیش‌تیمار با سولفات پتاسیم با سایر روش‌های پیش‌تیماری اختلاف معنی‌دار نشان داد و در تنش شدید خشکی بیش‌ترین میزان عملکرد اندام هوایی در تیمار سولفات روی گزارش شد (شکل ۶). مطالعات پیشین نشان داده، سولفات روی و اسید سالیسیلیک با تأثیر مثبت بر وضعیت آب نسبی گیاه و میزان کلروفیل، باعث بهبود عملکرد قسمت هوایی و ماده خشک طی، تنش خشکی می‌شوند (۳۵ و ۳۶). کاربرد خارجی روی و اسید سالیسیلیک بیانگر افزایش در میزان کلروفیل برگ و میزان رطوبت نسبی آب برگ در بسیاری از گیاهان می‌باشد (۲۹).

طبق جدول ۲، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کلروفیل کل برگ‌های ارقام کنجد روند کاهشی نشان داد. بیش‌ترین میزان کلروفیل در تیمار شاهد با ۴۷۵ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان کلروفیل در تیمار تنش شدید خشکی با ۱۳۸ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به ثبت رسید. علاوه بر این، بین تیمارهای مختلف پیش‌تیمار بذر با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار دیده شد (جدول ۲)، طوری‌که بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در پیش‌تیمار با سولفات روی با ۳۳۲ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین آن در تیمار شاهد با ۲۶۲ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) گزارش شد. نتایج حاضر با نتایج بسیاری از پژوهش‌گران در مطالعات گذشته مطابقت داشت (۳۱ و ۳۷). روشن شده است که خشکی باعث کاهش کمی عملکرد، به‌علت سیر نزولی میزان کلروفیل می‌باشد ولی با این‌حال، کاربرد روی در شرایط تنش کم‌آبی، باعث افزایش میزان کلروفیل و عملکرد کمی شده که نتیجتاً افزایش فتوسنتز را به‌همراه دارد (۳۷). فتوسیستم ۲ در مقایسه با فتوسیستم ۱ مقاومت بیش‌تری به تنش خشکی داشته، و تنها تحت شرایط شدید خشکی، اثرات زیان‌بار آن نمایان می‌شود (۳۸). تنش خشکی باعث تخریب قابل‌توجهی در رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و تجزیه غشا تیلاکوییدها می‌شود (۳۹).

اسید سالیسیلیک از پتانسیل بالایی در ایجاد واکنش‌های متابولیکی و تأثیر بر مؤلفه‌های فتوسنتزی و روابط آبی گیاه برخوردار است. نتایج مشابه در گندم زمستانه نیز نشان داد که غلظت‌های پایین (۱۰-۵ مولار) اسید سالیسیلیک میزان کلروفیل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، اما غلظت‌های بالاتر، اثر بازدارنده داشتند (۳۲). اسید سالیسیلیک با تحریک فعالیت آنزیم روبیسکو باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و با فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مانع از تجزیه کلروفیل می‌شود (۳۲ و ۴۰). در آزمایش حاضر، شرایط تنش ملایم و خشکی میزان کلروفیل کل به ترتیب ۳۸ و ۷۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (فاقد تنش خشکی) کاهش نشان داد.

جدول ۴- تجزیه واریانس پارامترهای محتوی آب نسبی، کلروفیل کل، پرولین و قند محلول تحت تنش خشکی و پیش‌تیمار بذر در ارقام کنجد.

Table 4. Variance analysis of relative water content, total chlorophyll, proline and soluble sugar parameters under drought stress and seed priming in sesame verities.

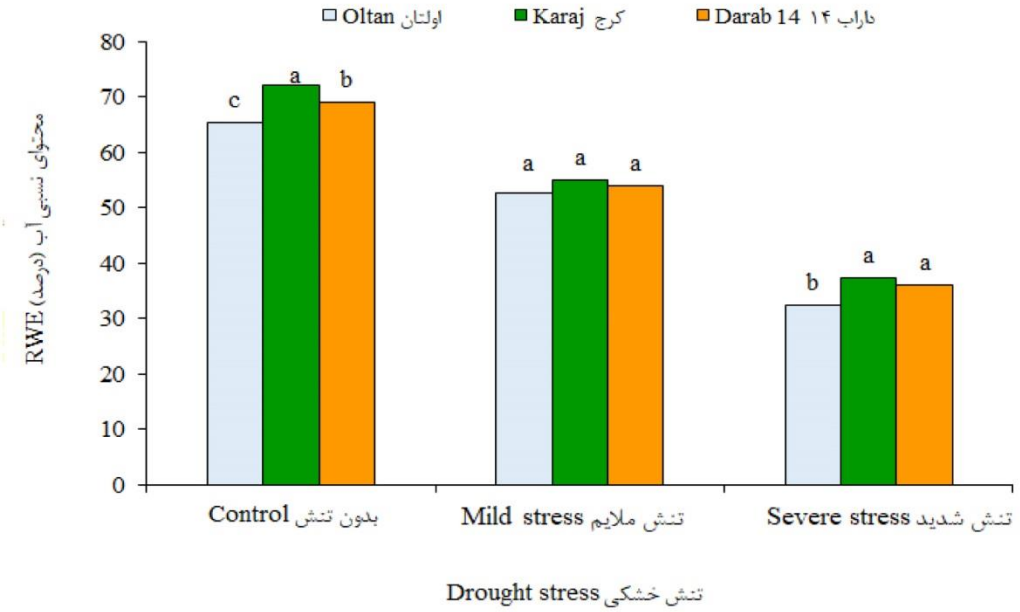
قند محلول Soluble sugar	پرولین Proline	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای نسبی آب Relative water content	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
0.641^{*}	5.021^{**}	3273^{ns}	1291^{**}	1	سال Y (Year)
0.063	0.027	56124	4/43	4	بلوک Block (سال)
12.860^{**}	29.448^{**}	2566175^{**}	25542^{**}	2	تنش Stress (I)
0.024^{ns}	0.358^{ns}	451^{ns}	44.3^{ns}	2	Y × I
0.009	0.149	4247	16.9	8	خطای اصلی (main error)
0.982^{**}	2.875^{**}	39455^{**}	604^{**}	4	پیش‌تیمار P (Priming)
0.080^{**}	0.320^{**}	4079^{**}	484^{**}	2	رقم C (Cultivar)
0.005^{ns}	0.018^{ns}	606^{ns}	2.68^{ns}	8	P × C
0.169^{**}	0.80^{**}	4205^{**}	33.2^{*}	8	I × P
0.006^{ns}	0.080^{*}	1206^{ns}	46.2^{*}	4	I × C
0.002^{ns}	0.027^{ns}	186^{ns}	5.46^{ns}	16	I × P × C
0.002^{ns}	0.035^{ns}	40^{ns}	1.13^{ns}	4	Y × P
0.001^{ns}	0.005^{ns}	2.87^{ns}	0.895^{ns}	2	Y × C
0.001^{ns}	0.001^{ns}	1.49^{ns}	0.019^{ns}	8	Y× P × C
0.001^{ns}	0.010^{ns}	8.46^{ns}	0.076^{ns}	8	Y× I × P
0.001^{ns}	0.001^{ns}	9.34^{ns}	0.075^{ns}	4	Y× I × C
0.001^{ns}	0.001^{ns}	1.85^{ns}	0.026^{ns}	16	Y× I × P × C
0.009	0.028	516	16.12	168	خطای فرعی sub error

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, ** and ^{ns} are respectively significant in 5, 10% and non-significant

با توجه به جدول ۴، اثرات ساده تنش خشکی و تیمارهای مختلف پیش‌تیمار به همراه اثر متقابل تنش خشکی× پیش‌تیمار و تنش خشکی × رقم در صفات میزان رطوبت نسبی و پرولین معنی‌داری نشان می‌دهد.

با افزایش تنش کم‌آبی میزان رطوبت نسبی کاهش معنی‌داری در بین تیمارهای حاوی تنش نشان داد. با این‌حال همه پیش‌تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد میزان بیش‌تری میزان رطوبت نسبی ثبت کردند. رقم کرج با ۵۴/۸۳ درصد بیش‌ترین و رقم اولتان با ۵۰/۲۳ درصد کم‌ترین میزان میزان رطوبت نسبی را به همراه داشتند (جدول ۵). با توجه به شکل ۷، اختلاف معنی‌داری بین ارقام کنجد در تنش ملایم گزارش نشد در حالی‌که در سطح تنش شدید، بیش‌ترین میزان RWE در رقم کرج و کم‌ترین در رقم اولتان مشاهده شد. میزان رطوبت نسبی شاخص از جمله مهم‌ترین شاخص‌های رشدی- زیست شیمیایی بوده، که بیانگر شدت تنش می‌باشد (۴۱). ذخیره مکفی عنصر روی در شرایط تنش خشکی، باعث تقویت نفوذپذیری غشا، فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی، کارایی فتوسنتز و راندمان مصرف آب می‌شود (۴۲). میزان رطوبت نسبی در گیاهان با مقاومت بالا در برابر تنش خشکی، بیش‌تر از گیاهان یا ژنوتیپ‌ها با مقاومت کم‌تر است. در پژوهش فوق، رقم کرج کم‌ترین میزان میزان رطوبت نسبی را به همراه داشت. هم‌چنین نتایج فوق با گزارش‌های پیشین مطابقت داشت (۱). مشخص شده است که با کاهش میزان آبیاری، محتوی نسبی آب در کنجد از ۷۹/۸ درصد به ۶۶/۵۰ درصد نزول پیدا می‌کند (۴۳). در آزمایش حاضر رقم کرج بیش‌ترین میزان محتوی نسبی آب داشت. محتوای نسبی آب برگ بالا در ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش ممکن است به دلیل حفظ تورژسانس سلول باشد، در حالی‌که ارقام حساس به خشکی به راحتی تورژسانس سلول‌های خود را از دست می‌دهند. کاهش محتوای نسبی آب در برگ، باعث تحریک بسته شدن سلول‌های روزنه‌ها و در نهایت کاهش فتوسنتز می‌شود.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در محتوای نسبی آب.

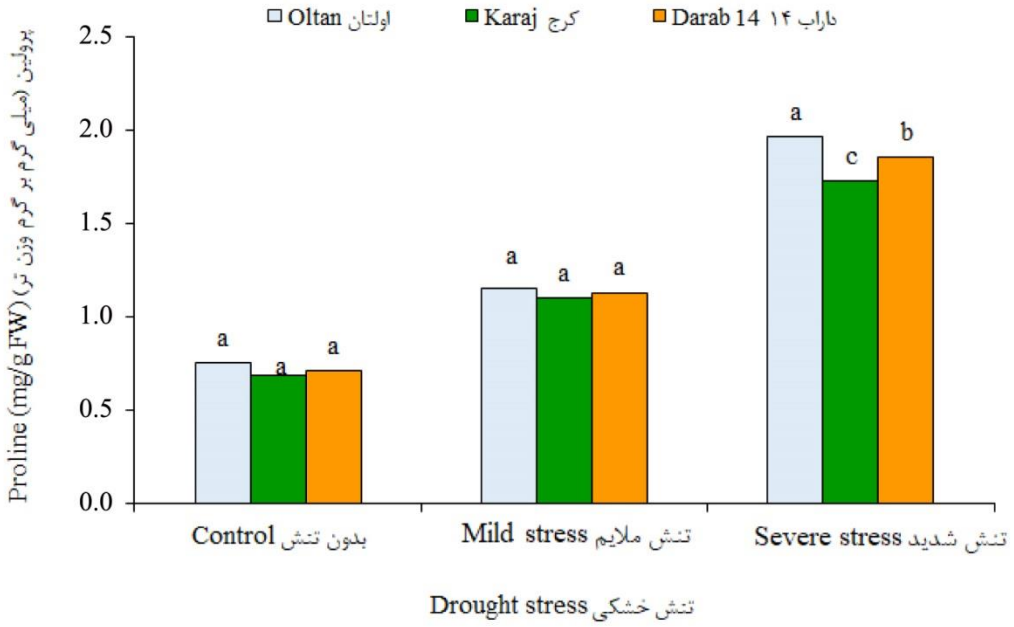
Fig. 7. Mean comparison of interaction effect of sesame cultivars in different drought levels stress in relative water content.

با افزایش شدت تنش خشکی، میزان پرولین روند افزایشی نشان داد و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای حاوی تنش خشکی با تیمار شاهد دیده شد (جدول ۵ و شکل ۸). به‌علاوه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف پیش‌تیمار و ارقام مختلف کنجد گزارش شد (جدول ۵). بیش‌ترین میزان پرولین در رقم کرج (۱/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین آن در رقم اولتان (۱/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) گزارش شد. اختلاف معنی‌داری بین ارقام کنجد در تنش ملایم خشکی مشاهده نشد اما در سطح تنش شدید خشکی، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد دیده شد (شکل ۸).

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای محتوی نسبی آب پرولین و قند محلول تحت تیمارهای تنش خشکی و پرایمینگ در ارقام کنجد.

Table 5. Mean comparison of RWE, proline and soluble sugar parameter under drought stress and priming in sesame verities.

تیمار (Treatment)	محتوای نسبی آب (درصد) Relative water content (%)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Proline (mg/gFW)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Soluble sugar (mg/gFW)
سال اول (First year)	54.88 a	1.37 a	1.05 a
سال دوم (Second year)	50.51 b	1.09 b	0.96 b
تنش خشکی (Drought stress)			
شاهد (Control)	68.91 a	0/72 c	0/67 c
تنش ملایم (Mild stress)	53.89 b	1.13 b	0.93 b
تنش شدید (Severe stress)	35.28 c	1.85 a	1/41 a
پرایمینگ بذر (Seed priming)			
شاهد (Control)	47.38 c	1.58 a	1.20 a
پرایم با آب (Hydropriming)	51.41 b	1.35 b	1.08 b
سالیسیلیک اسید (SA)	54.69 a	1.13 c	0.97 c
پتاسیم (K)	54.60 a	1.04 d	0.86 e
روی (Zn)	55.39 a	1.05 d	0.92 d
رقم (Variety)			
اولتان (Oltan)	50.23 c	1/17 a	1.03 a
کرج (Karaj)	54.83 a	1/29 c	0.97 b
داراب ۱۴ (Darab 14)	53.03 b	1.23 b	1.01 a

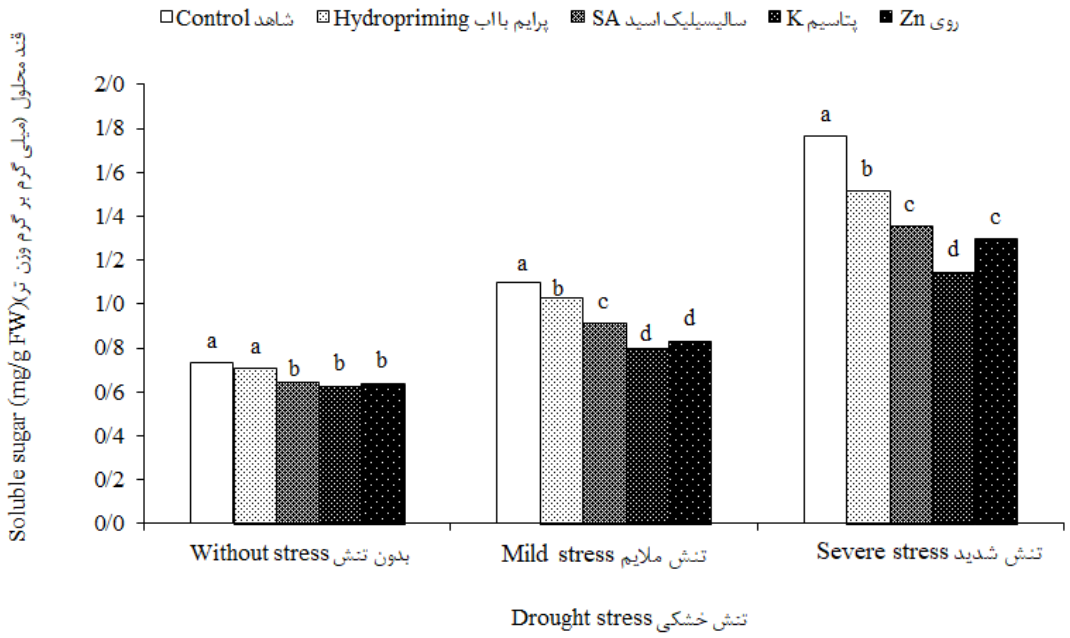


شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل ارقام کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در میزان پرولین برگ.

Fig. 8. Mean comparison of interaction effect of sesame cultivars in different drought levels stress in leaf proline content.

تجمع پرولین در گیاهان تحت شرایط تنش غیرزیستی رخ می‌دهد (۵). پرولین به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی، باعث حفاظت از ساختارها و اندامک‌های سلولی مانند کلروپلاست، میتوکندری، DNA از تخریب‌های اکسیداتیو می‌شود (۴۴). مشخص شده است که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک و روی با افزایش فعالیت ژن‌های بیان‌کننده چرخه سنتز پرولین باعث مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می‌شود (شمی و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج حاضر با گزارش‌های زابادس و ساور (۴۵) و عبدلال و همکاران (۴۶) مطابقت ولی با گزارش شمی و همکاران (۴۷) همخوانی نداشت.

قند محلول کل نیز با افزایش سطح تنش روند افزایشی نشان داد (جدول ۵ و شکل ۹). طوری که بیش‌ترین قند محلول در تیمار تنش خشکی شدید با ۱/۴۱ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان قند محلول در تیمار شاهد با ۰/۶۷ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. با توجه به جدول ۵، اختلاف معنی‌دار (۵ درصد) بین تیمارهای مختلف پرایمینگ و شاهد (بدون پرایمینگ) و ژنوتیپ‌های مختلف کنجد گزارش شد. در صفاتی چون پرولین، قند محلول و میزان رطوبت نسبی بین سال اول و دوم آزمایش اختلاف معنی‌دار مشاهده شد که ناشی از دمای بالاتر هوا در سال اول به نسبت سال دوم می‌باشد. علاوه‌بر این، اختلاف معنی‌داری بین پیش‌تیمارهای مختلف در سطوح‌های مختلف تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل پیش‌تیمارهای مختلف کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در میزان قند محلول برگ.

Fig. 9. Mean comparison of interaction effect of sesame cultivars in different drought levels stress in leaf soluble sugar content.

از جمله سازوکارهای اساسی جهت تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی در گیاهان تجمع اسمولیت‌های حل‌شونده مانند قندهای محلول در سلول می‌باشد. قندهای محلول به عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، باعث ثبات غشا سلولی و حفظ تورژسانس سلول‌ها، می‌شود (۲۶). روی و پتاسیم علاوه بر نقش مهم در فرایندهای اکسایشی و احیایی جهت فعال‌سازی آنزیم‌ها، نقش مهمی در سنتز پروتئین و تنظیم متابولیسم قندهای محلول دارد (۴۸). بیش بیان پروتئین فینگر روی[1] باعث افزایش قندهای محلول در آرابیدوپسیس و برنج در شرایط خشکی شد (۲۰). علاوه بر این وو و همکاران (۴۹)، بیان داشتند که روی به‌صورت تکمیلی باعث افزایش میزان قندهای محلول در پنبه در شرایط کم‌آبی شد. پتاسیم باعث تقویت بسیاری از مسیرها و سازوکارها، مانند تجمع اسمولیت‌های ارگانیک و افزایش فعالیت آنزیمی، می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان بیان نمود که با افزایش تنش خشکی، اجزا عملکردی کنجد مانند وزن هزاردانه، شاخص برداشت و تعداد کپسول روند کاهشی نشان می‌دهد. علاوه بر این خشکی منجر به کاهش سطح برگ، کلروفیل کل و محتوای نسبی آب و افزایش میزان پرولین و قند محلول در ارقام آزمایشی شد. پیش‌تیمار بذور باعث تحریک آنزیم‌های فتوسنتزی و آنتی‌اکسیدانتی و نهایتاً تعدیل اثرات نامطلوب تنش خشکی شد. مشخص شد که پرایمینگ با اسید سالیسیلیک اثرات تعدیل‌کنندگی بیش‌تر در برابر تنش خشکی در شرایط ملایم به همراه داشت. در پژوهش حاضر، رقم کرج نشان داد که بیش‌ترین میزان تعداد کپسول در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد، شاخص برداشت، میزان کلروفیل کل و پرولین را در مقایسه با سایر ارقام داشت که این بیانگر مقاومت این رقم نسبت به ارقام اولتان و داراب

1- Zinc finger protein

۱۴ می‌باشد. نهایتاً، استفاده از اسید سالیسیلیک جهت پرایمینگ بذر، به همراه کشت رقم کرج در شرایط آب و هوایی استان بوشهر، جهت کاستن از اثرات نامطلوب تنش خشکی، توصیه می‌شود.

منابع

1.Movahhedi Dehnavi, M., Misagh, M., Yadavi, A. and Merajipoor, M. 2017. Physiological responses of sesame (*Sesamum indicum* L.) to foliar application of boron and zinc under drought stress. J. Plant Proc Func. 6: 28-35.

2.Uzun, B., Arslan, C. and Furat, S. 2008. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.). J. Am. Oil Chem. Soc. 85: 1135-1142.

3.Boureima, S., Diouf, M., Amoukou, A.I. and Damme, V.P. 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. Int. J. Pure Appl. Biosci. 4: 45-60.

4.Hota, T., Pradan, C. and Rout, G.R. 2019. Identification of drought tolerant *Sesamum* genotypes using biochemical markers. Indian J. Exp. Biol. 57: 690-699.

5.Dossa, K., Li, D., Zhou, R. and Zhang, X. 2019. The genetic of drought tolerance in the high oil crop *Sesamum indicum*. Plant Biotechnol. J. 179: 1788-1803.

6.El Harfi, M., Hanine, H., Rizki, H., Latrache, H. and Nabloussi, A. 2016. Effect of drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds of sesame (*Sesamum indicum*). Int. J. Agri. Biol. 18: 1088-1094.

7.Hussain, H.A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S.A. and Men, S. 2018. Chilling and drought stresses in crop plants: implications cross talk, and potential management opportunities. Front Plant Sci. 9: 1-21.

8.Yigit, N., Sevik, H., Cetin, M. and Kaya, N. 2016. Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species. Water Stress. Plant. 12: 25-32.

9.Khan, R., Ma, X., Shah, S., Wu, X., Shaheen, A., Xiao, L., Wu, Y. and Wang, S. 2020. Drought-hardening improves drought tolerance in *Nicotiana tabacum* at physiological, biochemical, and molecular levels. Plant Biol. 20: 486-501.

10.Seleiman, M., Al-Suhaibani, N., Akmal, M. and Battaglia, M.L. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants. 10: 259. 2-25.

11.Khan, A., Pan, X., Najeeb, U., Tan, DK., Fahad, S., Zahoor, R. and Luo, H. 2018. Coping with drought: Stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. Biol. Res. 51: 47-59.

12.Kumar, S.V., Vyakaranahal, B., Deshpande, V., Raikar, S., Nadaf, H. and Kumar, B.A. 2014. Effect of seed polymer coating on growth and yield of pigeonpea. Karnataka J. Agri. Sci. 27: 469-471.

13.Sevik, H. and Cetin, M. 2014. Effects of water stress on seed germination for select landscape plants. Pol. J. Environ. Stud. 24: 689-693.

14.Da Silva, A.C., Suassuna, J.F., de Melo, A.S., Costa, R.R., de Andrade, W.L. and da Silva, D.C. 2017. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. Rev. Bras de Eng. Agrícola e Ambient. 21: 156-162.

15.Thuc, LV., Sakagami, J.I., Hung, L.T., Huu, T.N., Khuong, N.Q. and Vi, L.L.V. 2021. Foliar selenium application for improving drought tolerance of sesame (*Sesamum indicum* L.). Open Agric. 6: 93-101.

16.Galviz-Fajardo, Y.C., Bortolin, G.S., Deuner, S., Amarante, L., Reolon, F. and Moraes, D.M. 2020. Seed priming with salicylic acid potentiates water restrictioninduced effects in tomato seed germination and early seedling growth. J. Seed Sci. 42: 1-12.

17.Sharma, M., Gupta, S.K., Majumder, B., Maurya, V.K., Deeba, F., Alam, A. and Pandey, V. 2017. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress. J. Proteom. 123: 28-51.
18.Basit, A., Hussain, S., Abid, M., Hye, M.Z. and Ahmed, N. 2020. Zinc and potassium priming of maize (*Zea mays* L.) seeds for salt-affected soils. J. Plant Nut. 44: 1. 130-141.
19.Malekzade, S., Fallah, S. and Azari, A. 2017. The role of zinc sulphate and potassium nitrate on seed germination parameters improvement of black cumin (*Nigella sativa*) medical plant. Plant Prod. Tech. 8: 139-151.
20.Luo, X., Bai, X., Zhu, D., Li, Y., Ji, W., Cai, H. and Zhu, Y. 2012. GsZFP1, a new Cys2/His2-type zinc-finger protein, is a positive regulator of plant tolerance to cold and drought stress. Planta. 235: 1141-1155.
21.Mehrabi, Z. and Ehsanzadeh, P. 2009. The effect of drought stress on yield and yield factors of four sesame. 10th Congress of Iran Agriculture Science and Plant Breeding.
22.Dere, S., Gunes, T. and Sivaci, R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. J. Bot. 22: 13-17.
23.Filella, I., Llusia, J., Pin, J.O. and Pen, J.U. 1998. Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* samplings in severe drought and high temperature conditions. Environ. Exp. Bot. 39: 213-220.
24.Bates, L.S., Waldran, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Plant Soil. 39: 205-208.
25.Khani, M.R., Heidar Abadi, H., Madani, H., Nor Mohammadi, G. and Darvish, F. 2011. Selection for resistance to drought in sesame genotypes. Mod find Agri. 4: 347-359. In Persian
26.Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P. and Prasad, S.M. 2015. Roles of osmo-protectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. Rev Environ Sci Biotechnol. 14: 407-26.
27.Basal, O. and Szabo, A. 2020. Physiomorphology of Soybean as Affected by Drought Stress and Nitrogen Application. Scientifica. 11: 1-7.
28.Keshavarzi, M.H. 2012. The effect of drought stress on germination and early growth of *sesamum indicum* seedling's varieties under laboratory conditions. Int. J. Agric. Manag. 2: 271-275.
29.Habibi, G. 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. Acta Biol. Szeged. 56: 57-63.
30.Fayaz, K.A. and Bazaid, A.A. 2013. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. J. Saudi Soc. of Agric. Sci. 13: 45-55.
31.Waraich, E.A., Ahmad, R. and Ashraf, M.Y. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. Aust J. Crop Sci. 5: 764-772.
32.Khalvandi, M., Sioseemardeh, A., Roohi, E. and Keramati, S. 2021. Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. Heliyon. 7: 1-11.
33.Assadi, H., Baradaran, R., Seghatoleslami, M.J. and Mousavi, S.G. 2021. Evaluation of drought tolerance in some sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes based on stress tolerance indices. Iran. J. field Crop. Res. 18: 4. 413-433.
34.Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. and Guoqin, H. 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agric. 10: 1-20.
35.Najafabadi, M. and Ehsanzadeh, P. 2017. Photosynthetic and antioxidative upregulation in drought-stressed sesame (*Sesamum indicum* L.) subjected to foliar-applied salicylic acid. Photosyn. 55: 611-622.

36.Ullaha, A., Romdhaneb, L., Rehmanc, A. and Farooq, M. 2019. Adequate zinc nutrition improves the tolerance against drought and heat stresses in chickpea. Plant Physiol. Biochem. 143: 11-18.
37.Dehnavi, M.M., Misagh, M., Yadavi, A. and Merajipoor, M. 2017. Physiological responses of sesame (*Sesamum indicum* L.) to foliar application of boron and zinc under drought stress. J. Plant Process Funct. 6: 27-36.
38.Zhang, S.H., Xu, X.F., Sun, Y.M., Zhang, J.L. and Li, C.Z. 2018. Influence of drought hardening on the resistance physiology of potato seedlings under drought stress. J. Integr. Agric. 17: 336-47.
39.Maina, J.N. and Wang, Q. 2015. Seasonal response of chlorophyll a/b ratio to stress in a typical desert species: *Haloxylon ammodendron*. Arid Land Res. Manag. 29: 321-334.
40.Khokon, M., Okuma, E.I.J.I., Hossain, M.A., Munemasa, S. and Uraji, M., Nakamura. 2011. Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid-induced stomatal closure in Arabidopsis. Plant Cell Environ. 34: 434-443.
41.Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Eshghi, A.G., Jamati-e-Somarin, S.H., Saeidi, M. and Zabihi, R. 2009. Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at early flowering stage. Res J Environ Sci. 3: 345-350.
42.Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S. 2021. A review on response mechanism of plants to drought stress. Horticulture. 7: 1-44.
43.Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eroutor, P.G. and Onome-Irieguna, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum*). Afri. J. Biotech. 5: 1249-1253.
44.Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29: 185-212.
45.Szabados, L. and Savoure, A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. - Trends Plant Sci. 15: 89-97.
46.Abdelaal, K.A., Attia, K., Alamery, S.F., El-Afry, M.M., Ghazy, A.I., Tantawu, D.S., Al-Doss, A.A., El-Shawy, E.E. and Hafez, Y.M. 2020. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. Sustain. 12: 1736-1751.
47.Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.M.S., Hussain, S., Irfan, M., Choldah, L., Zhang, K., Zhang, S. and Wang, L. 2021. Effects of salicylic acid zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. Sci. Reo. 11: 1-14.
48.Sardans, J. and Penuelas, J. 2021. Potassium control of plant functions: ecological and agricultural implications. Plants. 10: 419-449.
49.Wu, S., Hu, C., Tan, Q., Li, L., Shi, K., Zheng, Y. and Sun, X. 2015. Drought stress tolerance mediated by zinc-induced antioxidative defense and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum*). Acta Physiol Plant. 37: 167-177.