نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۹۲
۷۷-۹۷
http://ejcp.gau.ac.ir

ارزیابی تحمل به خشکی چند رقم کلزا بر اساس خصوصیات فیزیولوژی و زراعی در منطقه یزد

بهاره شهرابی فراهانی[۱]، اسفندیار فرهمندفر[۲]، *طاهره حسنلو[۳]، امیرحسین شیرانی‌راد[۴] و سیدعلی طباطبایی[۵]

[۱و۲]دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استادیار گروه زراعت، اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران، [۳]استادیار بخش فیزیولوژی مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، البرز، ایران، [۴]دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، البرز، ایران، [۵]استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی استان یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱٤

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژی و زراعی سه رقم کلزای پاییزه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در منطقه یزد و در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. در این پژوهش، آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (به‌عنوان تیمار شاهد) و تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری از مرحله گلدهی و ارقام کلزای Lilian، Cooper و Savannah به‌عنوان عامل فرعی بودند. نمونه‌برداری ۷، ۱۲ و ۲٦ روز بعد از اعمال تنش انجام شد. نتایج نشان داد که تنش سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، رطوبت نسبی برگ (RWC)، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد و کلروفیل کل (SPAD) در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. در بین ارقام مورد بررسی، در شرایط تنش خشکی، رقم Lilian به واسطه هدایت روزنه‌ای بالا (۱۹٦ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه)، بیشترین تعداد خورجین در بوته (۳۰۰)، وزن هزار دانه (٤/۰٦ گرم) و عملکرد دانه (۱٤۱۱ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. شاخص‌های میانگین هندسی قابلیت تولید (GMP) و تحمل به تنش (STI) به‌دلیل همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط شاهد و تنش در گزینش رقم متحمل به خشکی و با پتانسیل تولید بالا انتخاب شدند. براساس ترسیم بای پلات حاصل از دو مؤلفه اصلی اول، رقم Lilian علاوه بر دارا بودن شاخص‌های GMP و STI بالا، در هر دو محیط تنش و بدون تنش، عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر داشت.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل به تنش، عملکرد و اجزاء عملکرد، کلزا، هدایت روزنه‌ای.

*مسئول مکاتبه: thasanloo@abrii.ac.ir

مقدمه

خشکی مهم‌ترین تنشی است که رشد و تولید گیاهان را در جهان محدود می‌کند (یاماگوشی و همکاران، ۲۰۰۲). متوسط افت عملکرد سالانه به واسطه خشکی در جهان حدود ۱۷ درصد بوده که تا بیش از ۷۰ درصد در هر سال می‌تواند افزایش یابد (ادمیدز و همکاران، ۱۹۹٤).

کلزا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در حدود ۱۲ درصد از میزان کل تولید جهانی دانه‌های روغنی را که در حدود ۳۷۷/٦ میلیون تن می‌باشد، به خود اختصاص داده است. در این گیاه، مراحل گلدهی و تشکیل خورجین‌ها، از حساس‌ترین مراحل نموی به تنش خشکی می‌باشند که در اغلب مناطق زراعی کشور با تنش مواجه می‌گردند (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷). وجود تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه، موجب کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد، به‌ویژه تعداد خورجین‌ها و تعداد دانه‌ها می‌شود (جنسن و همکاران، ۱۹۹٦). در بررسی نصری و همکاران (۲۰۰۸) اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن پنج رقم کلزا (Syn-1, PF7045-01, Symbol, Mohican و Hyola-42) شد. محققان همواره به دنبال گزینش شاخص‌هایی هستند که بتوانند ارقامی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند شناسایی کنند و در این زمینه گزارشات نسبتاً زیادی در خصوص گزینش برای انتخاب ارقام کلزای متحمل به تنش خشکی وجود دارد (کاکایی و همکاران، ۲۰۱۰؛ چغاکبودی و همکاران، ۲۰۱۲). برای اولین بار فرناندز (۱۹۹۲) شاخص تحمل به تنش (STI)[1] را به عنوان مناسب‌ترین شاخص به‌منظور شناسایی ارقامی با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و تحمل و پایداری زیاد در شرایط تنش معرفی نمود. نعیمی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در ارزیابی تحمل به خشکی در ارقام مختلف کلزا براساس شاخص‌های ارزیابی تنش در انتهای فصل رشد گزارش کردند که با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی قابلیت تولید (GMP)[2] و متوسط عملکرد یا میانگین بهره‌وری تولید (MP)[3] با عملکرد دانه در شرایط مطلوب و تنش به‌عنوان معیارهای مناسب جهت شناسایی ارقام متحمل به تنش شناخته شدند.

1- Stress tolerance index
2- Geometric mean productivity
3- Mean productivity

هنگامی‌که گیاهان درجاتی از کمبود آب را تجربه می‌کنند از طریق تغییرات نموی، بیوشیمیایی و فیزیولوژی به تنش کم‌آبی پاسخ می‌دهند و نوع پاسخ مشاهده شده به چندین عامل نظیر شدت تنش، مدت تنش و ژنوتیپ وابسته است. نتایج مطالعه رشیدی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی رابطه بین تحمل به تنش خشکی با تعدادی از صفات فیزیولوژی در ۲۲ ژنوتیپ کلزا نشان داد که میزان عملکرد دانه، روغن دانه و میزان رطوبت نسبی برگ (RWC)[1] در شرایط تنش کاهش یافت، هم‌چنین بین ژنوتیپ‌های کلزا در این صفات نیز تفاوت معنی‌داری وجود داشت. وضعیت کلروفیل کل گیاه را می‌توان توسط دستگاه کلروفیل متر دستی (SPAD) تعیین نمود. موجدسی و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه گرفتند که با افزایش مکش ماتریک خاک بر مقدار کلروفیل کل (SPAD) در گیاه کلزا افزوده شد. دلخوش و همکاران (۲۰۰۵) دلیل این امر را تأثیر تنش کمبود آب بر کاهش سطح برگ گیاه و افزایش میزان کلروفیل در واحد سطح برگ ذکر کردند.

با توجه به همزمانی حادث شدن تنش خشکی در طی مراحل گلدهی تا رسیدگی کلزا و متفاوت بودن زمان وقوع و شدت تنش طی سال‌های مختلف در ایران، لزوم معرفی ارقام جدید به کشاورزان که به این شرایط سازگاری داشته باشند، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی براساس خصوصیات زراعی و فیزیولوژی، استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و تعیین بهترین شاخص‌ها به‌منظور گزینش رقم برتر جهت توصیه در کشت پاییزه کلزا در منطقه یزد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی یزد با موقعیت طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ١٦ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ١٢٣٦ متر از سطح دریا انجام شد. یزد با متوسط بارندگی سالانه ٦٢ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۹/۲ سانتی‌گراد، با اقلیمی خشک در فلات مرکزی ایران واقع شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد و تیمارهای آبیاری در کرت‌های اصلی و ارقام در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمار آبیاری در دو سطح، شامل

1- Relative water content

آبیاری معمول براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (شاهد) و دیگری تنش خشکی به صورت قطع آبیاری در مرحله گلدهی (زمانی که ۵۰ درصد گیاهان به گل رفته باشند) اعمال شد (نعیمی و همکاران، ۲۰۰۸). ارقام مورد بررسی در این آزمایش شامل سه رقم کلزای پاییزه به نام‌های Lilian، Cooper و Savannah بودند. قبل از عملیات کاشت برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌گیری از خاک مزرعه انجام گرفت که نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه‌برداری	هدایت الکتریکی	pH	نیتروژن کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی
(سانتی‌متر)	(دسی‌زیمنس بر متر مربع)		(درصد)	(پی‌پی‌ام)	(پی‌پی‌ام)	لوم شنی رسی	(گرم بر سانتی‌متر مکعب)	(درصد)	(درصد)
٤٠-٠	٣/٨٨	٧/٨	٠/٠١٤	٥/٠٢	١٠٧/٩		١/٣٩	١٦/٧	٤/١

براساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کود پاشی (کود اوره ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت: ۱۰۰ کیلوگرم به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله شروع گل‌دهی، کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم هرکدام ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه) شد و به وسیله دیسک سبک، کود با خاک مخلوط گردید. هرکرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج متر با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت چهار سانتی‌متر بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه و فاصله بین دو بلوک مجاور نیز شش متر در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ ۸ آبان‌ماه انجام گرفت و کلیه عملیات مربوط به داشت به‌جز آبیاری به‌صورت یکسان در کرت و بر اساس عرف منطقه انجام شد.

در این بررسی، به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی، نمونه برداری از کرت‌های آزمایشی در تیمار شاهد و قطع آبیاری از مرحله گلدهی در سه مرحله (۷ روز، ۱۲ روز و ۲٦ روز بعد از اعمال تنش) صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری میزان رطوبت‌نسبی برگ‌ها (RWC) از روش اومایی همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد و سپس میزان رطوبت نسبی برگ‌ها برحسب درصد از طریق معادله ۱ محاسبه شد:

$$RWC\ \% = [\ (F_w - D_w) / (T_w - D_w)] \times ١٠٠ \qquad (١$$

در این معادله‌ها، F_w وزن تازه، T_w وزن آماس و D_w وزن خشک دیسک‌ها بر حسب گرم می‌باشند.

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای در برگ‌ها با استفاده از دستگاه‌های پرومتر AP4 (مدل MK, Delta, UK) برحسب واحد میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه و ارزیابی کلروفیل کل (SPAD) توسط دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 (مدل Minolta, Japan) از پنج برگ بالای پوشش گیاهی در هر تکرار صورت گرفت (موجدسی و همکاران، ۲۰۱۱). پس از اینکه گیاه به مرحله رسیدگی فیزیولوژی نزدیک شد، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین آن‌ها اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، گیاهان از مساحت ٤/٨ مترمربع از هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه کف‌بر شده و پس از جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای تعیین وزن هزاردانه، بعد از برداشت محصول، هشت نمونه ۱۰۰ تایی از بذور هرکرت آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب و با ضرب کردن میانگین آن‌ها در عدد ۱۰، وزن هزاردانه محاسبه گردید.

هم‌چنین در این بررسی شاخص‌های کمی مقاومت به تنش با استفاده از عملکرد ارقام در شرایط آبیاری (Y_p) و تنش (Y_s) به شرح زیر محاسبه گردید:

[1] (شدت تنش) $SI = 1- (Y_s / Y_p)$	(فیشر و موئر، ۱۹۷۸)
[2] (شاخص حساسیت به تنش) $SSI = (1 - (Y_s / Y_p)) / SI$	
[3] (شاخص تحمل) $TOL = Y_p – Y_s$	(روسیلی و هامبلین، ۱۹۸٤)
[4] (شاخص تحمل به تنش) $STI = (Y_p \times Y_s) / (\overline{Y}_p)^2$	(فرناندز، ۱۹۹۲)
[5] (شاخص بهره‌وری متوسط) $MP= (Y_p + Y_s) / 2$	(روسیلی و هامبلین، ۱۹۸٤)
[6] (شاخص میانگین هندسی بهره‌وری) $GMP = \sqrt{Y_p . Y_s}$	(فرناندز، ۱۹۹۲)
[7] (شاخص عملکرد) Yield index (YI) = $Y_s / \overline{Y}_s$	(گاووزی و همکاران، ۱۹۹۷)
[8] (شاخص پایداری عملکرد) Yield stability index (YSI) = Ys /Yp	(بوسلاما و اسچاپائگ، ۱۹۸٤)

1- Stress index
2- Stress susceptibility index
3- Tolerance
4- Stress tolerance index
5- Mean productivity
6- Geometric mean productivity
7- Yield index
8- Yield stability index

(چوگان و همکاران، ٢٠٠٦) $\%\ \text{Reduction} = ((Y_p - Y_s) / Y_p) \times 100$ (درصد کاهش)

که در این روابط، $\bar{Y}_p$ و $\bar{Y}_s$ به‌ترتیب میانگین عملکرد دانه ارقام در شرایط آبیاری معمول و تنش می‌باشند. سپس به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص برای تشخیص ارقام متحمل به تنش، همبستگی ساده بین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش (شاهد) با شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) محاسبه شد و شاخصی که در هر دو محیط دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه بودند، به‌عنوان بهترین شاخص شناسایی گردید (فرناندز، ١٩٩٢). در پایان پس از اطمینان از مفروضات، داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) تجزیه واریانس شدند و میانگین اثرات اصلی و متقابل به روش LSD در سطح احتمال ٥ درصد مورد مقایسه قرارگرفت. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد و برای هر تیمار خطای استاندارد (SE) محاسبه گردید. همچنین پس از استاندارد کردن داده‌های مربوط به شاخص‌های کمی مقاومت به تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)[1] انجام شد و نمودار بای پلات آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver 9.1) ترسیم گردید.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژی: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات فیزیولوژی در جدول ٢ ارائه شده است. براین اساس اثر آبیاری بر کلروفیل کل (SPAD) در کلیه مراحل نمونه‌برداری در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر آبیاری بر میزان رطوبت‌نسبی برگ (RWC) در مرحله هفت روز بعد از اعمال تنش در سطح پنج درصد و در مراحل دوازده و بیست و شش روز بعد از اعمال تنش در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٢ و شکل ١). همچنین اثر آبیاری بر میزان هدایت روزنه‌ای در مراحل هفت و دوازده روز بعد از اعمال تنش در سطح پنج درصد و در مرحله بیست وشش روز بعد از اعمال تنش در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٢ و شکل ١). در این آزمایش ارقام کلزای مورد بررسی فقط از نظر میزان رطوبت‌نسبی برگ (RWC) در ٢٦ روز پس از اعمال قطع آبیاری و هدایت روزنه‌ای در هفت روز پس از اعمال قطع آبیاری تفاوت معنی‌داری باهم داشتند (جدول ٢). همچنین اثر متقابل آبیاری و رقم به‌جز صفت هدایت روزنه‌ای در هفت روز پس از اعمال قطع آبیاری بر سایر صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ٢).

1- Principal component Analysis

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات کلروفیل کل (SPAD) و میزان رطوبت نسبی برگ (RWC) در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری.

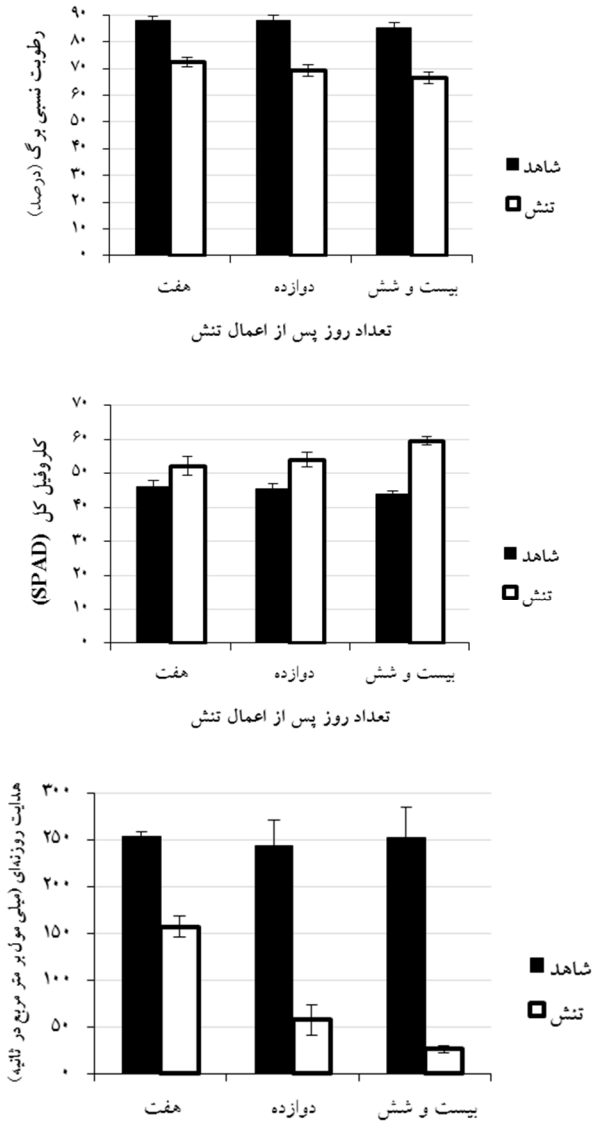
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل کل (SPAD)			RWC		
		(هفت روز بعد از اعمال تنش)	(دوازده روز بعد از اعمال تنش)	(بیست و شش روز بعد از اعمال تنش)	(هفت روز بعد از اعمال تنش)	(دوازده روز بعد از اعمال تنش)	(بیست و شش روز بعد از اعمال تنش)
تکرار	۲	۶۰/۸۲ ns	۵۸/۹۹ ns	۳/۸۷ ns	۱۶/۹ ns	۱۰۲/۷ ns	۱۱۰/۵ *
آبیاری	۱	۱۵۶/۰۵ **	۳۲۲/۵۸ *	۱۰۷۶/۴۸ **	۱۰۸۴/۲ *	۱۵۹۲/۳ **	۱۶۱۳/۱ **
خطای الف	۲	۲/۹۴	۷/۶۰	۱۳/۸۴	۳۴/۵	۶/۲	۲/۶
ارقام	۲	۱۲۷/۲۰ ns	۵۵/۸۴ ns	۲۰/۳۷ ns	۵۱/۴ ns	۶۷/۷ ns	۱۱۶/۶ *
آبیاری × رقم	۲	۱۲/۳۱ ns	۱۳/۵۲ ns	۰/۸۵ ns	۴/۹ ns	۸/۳ ns	۱۴/۷ ns
خطای ب	۸	۴۳/۸۵	۲۳/۷۰	۱۲/۴۸	۱۶/۷	۲۵/۵	۱۸/۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۴۶	۹/۷۷	۶/۸۲	۵/۱	۶/۴	۵/۶

ns فاقداختلاف معنی‌دار و *و ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند.

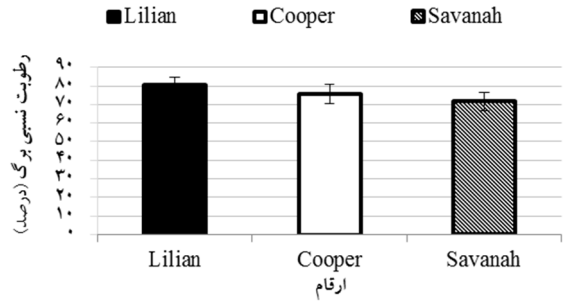
ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس هدایت روزنه‌ای در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		هدایت روزنه‌ای		
		(هفت روز بعد از اعمال تنش)	(دوازده روز بعد از اعمال تنش)	(بیست و شش روز بعد از اعمال تنش)
تکرار	۲	۵۴/۸ ns	۴۰۹/۶ ns	۱۵۵/۱ ns
آبیاری	۱	۴۲۴۳۷/۵ *	۲۰۲۴۴۳/۱ *	۲۹۹۴۰۹/۰ **
خطای الف	۲	۵۱۳/۵	۳۱۹۲/۹	۱۵۵/۱
ارقام	۲	۲۸۸۰/۳ **	۱۸۳۵/۱ ns	۱۴۸۴/۲ ns
آبیاری × رقم	۲	۱۳۴۶/۷ *	۱۱۵۸/۹ ns	۱۰۸/۵ ns
خطای ب	۸	۲۱۷/۹	۱۰۴۲/۳	۹۸۷/۱
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۲	۱۹/۷	۲۰/۲

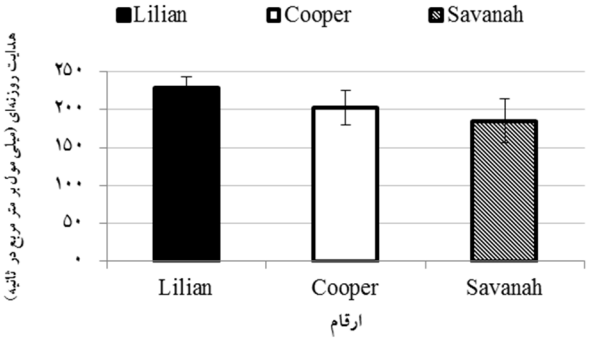
ns فاقداختلاف معنی‌دار و *و ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند.



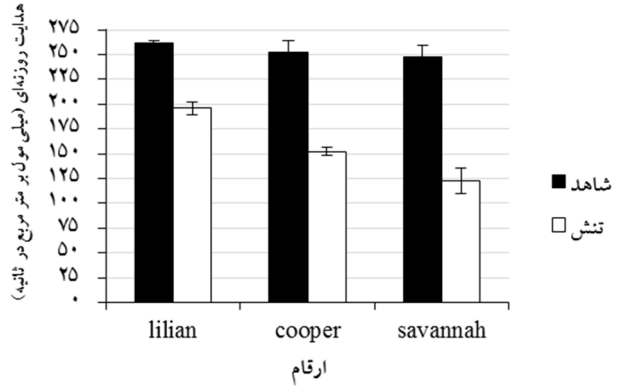
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای آبیاری معمول و قطع آبیاری از گل‌دهی (تنش خشکی) بر تغییرات رطوبت نسبی برگ (RWC)، کلروفیل کل (SPAD) و تغییرات میزان هدایت روزنه‌ای در سه رقم کلزای مورد بررسی (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های صفت رطوبت نسبی برگ (RWC) در سه رقم کلزای مورد بررسی در ۲۶ روز پس از اعمال قطع آبیاری (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های صفت هدایت روزنه‌ای برگ در سه رقم کلزای مورد بررسی در هفت روز پس از اعمال قطع آبیاری (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).



شکل ٤- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفت هدایت روزنه‌ای در هفت روز پس از اعمال قطع آبیاری (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).

عملکرد و صفات وابسته به آن: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد و صفات وابسته به آن نشان داد که اثر آبیاری بر تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه در سطح یک درصد و بر تعداد دانه در خورجین در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). ارقام کلزای مورد بررسی در این آزمایش نیز از نظر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری باهم داشتند (جدول ۳). همچنین اثر متقابل آبیاری × رقم به‌جز در صفت تعداد دانه در خورجین بر سایر صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ۳).

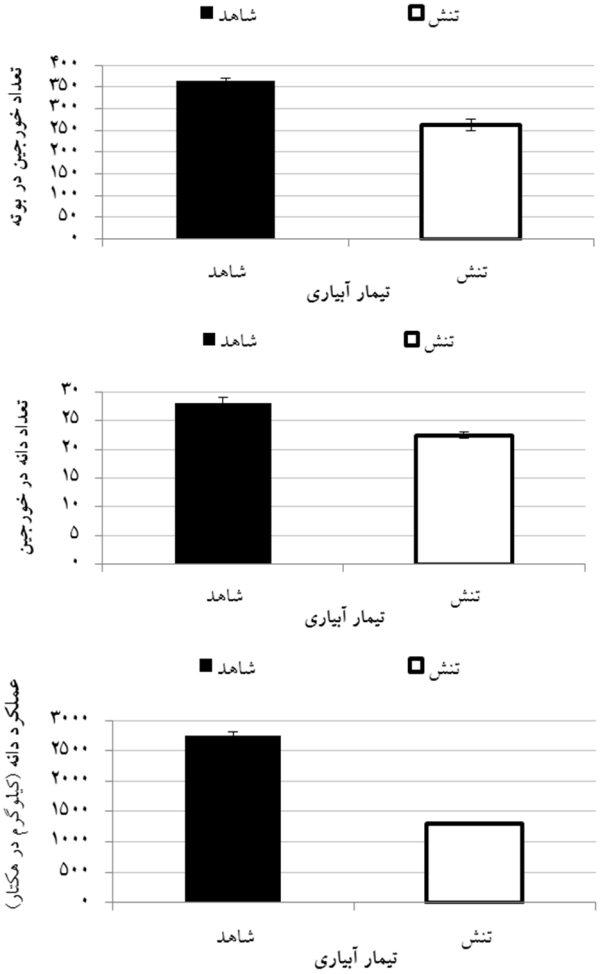
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد وصفات وابسته به آن در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۲۳/۷ ns	۲/۰ ns	۱۷۷۱/۱ ns	٤/٥ *	۰/۲۳۳ ns	٥۰۸۱/۲ ns
آبیاری	۱	۲٥٦/۸ ns	۰/٥ ns	٤٦۳۰۹/۳ **	۱٤۰/٥ *	۰/۲٦۱ ns	۹٤٦۹۳۷۱/۷**
خطای الف	۲	۱۱۷/۱	٤/٦	۲۱٦/۱	٦/٦	۰/۳۲۷	۱۱۱۸۱/۱
ارقام	۲	۷٤۰/۳ *	۰/٦ ns	٤۳۳۰/۱ *	۱۲/٤ ns	۰/۸۲۸*	۹۰٦۷۸/۱ *
آبیاری × رقم	۲	۱۱٥/۱ ns	۰/۰ ns	٦۷۲/۳ ns	۱٦/۱ *	۰/۰۹٥ ns	٥۲۸۲۷/۷ ns
خطای ب	۸	٥٥/۹	۱/٤	۳۲۹/۸	۲/۳	۰/۰٤۹	۱۲۳٤٥/۷
ضریب‌تغییرات(درصد)		٥/۹	۱۰/۱	٥/۸	٦/۱	٥/۷	٥/٤

ns فاقداختلاف معنی‌دار؛ *و ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند.

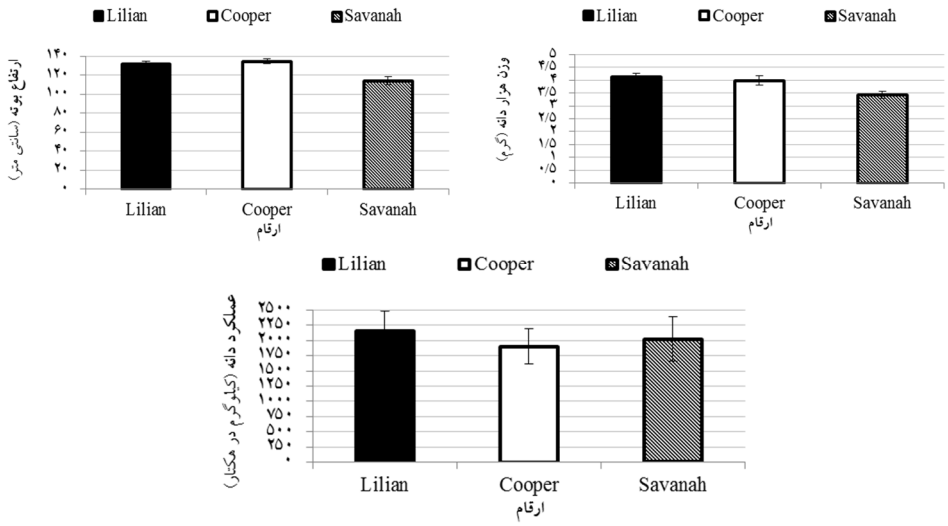
مقایسه میانگین‌های برخی از صفات در تیمارهای آبیاری در شکل (۵) نشان می‌دهد که بیشترین میزان تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه از تیمار آبیاری شاهد حاصل شد و اعمال قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به‌ترتیب سبب کاهش ۲۷/۹، ۱۹/۹ و ۵۲/۷ درصدی صفات مذکور شد. گزارشات ارائه شده توسط نیلسن (۱۹۹۷) نیز نشان‌دهنده وجود عکس‌العمل خطی بین عملکرد دانه و آب مصرفی در گیاه کلزا می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که کمبود عرضه مواد فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، باعث عدم تلقیح گل‌ها در زمان گرده‌افشانی، عدم تأمین مواد فتوسنتزی به میزان کافی برای خورجین‌ها و ریزش آن‌ها و در نهایت کاهش تعداد خورجین می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که تعداد خورجین در بوته در میان اجزاء عملکرد کلزا بیشترین حساسیت را به تنش خشکی دارا می‌باشد و اعمال تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی گیاه کلزا به‌واسطه ریزش شدیدتر گل و

خورجین سبب کاهش قابل توجه در تعداد خورجین در بوته می‌گردد (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷). ما و همکاران (۲۰۰۶) نیز اظهار داشتند که تعداد دانه در خورجین در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط نیکنام و همکاران (۲۰۰۳) و خان و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که برخورد مرحله زایشی گیاه کلزا با تنش خشکی، موجب کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد، به‌ویژه تعداد خورجین‌ها و دانه‌ها گردید که با نتایج این بررسی مطابقت دارد.

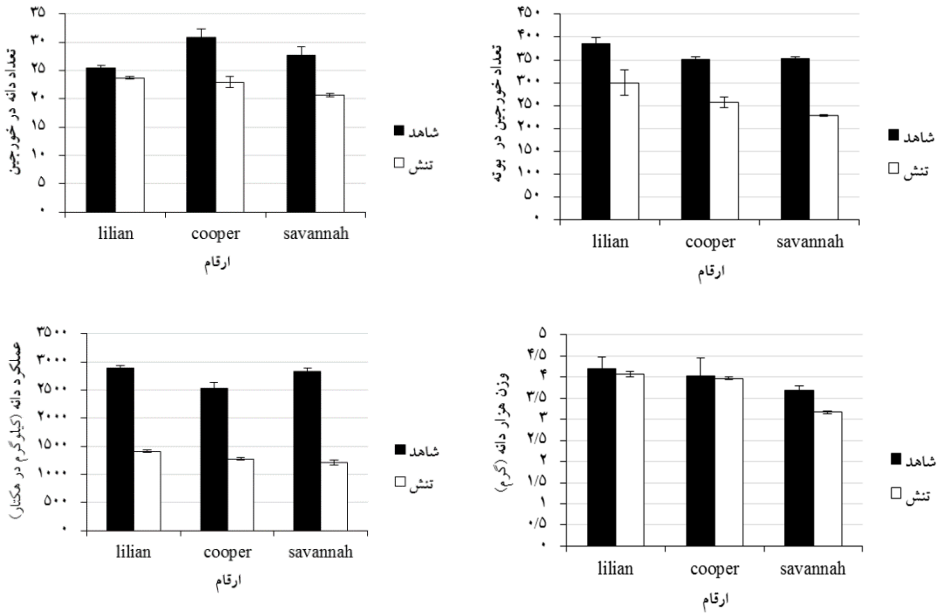


شکل ۵- مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای آبیاری معمول و قطع آبیاری از گل‌دهی (تنش خشکی) بر صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه در سه رقم کلزای مورد بررسی (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).

در بین سه رقم کلزای مورد بررسی، از نظر صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه ارقام Lilian و Cooper برتر بودند، بیشترین تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه نیز در رقم Lilian مشاهده شد (شکل ٦). این در حالی است که رقم Savanah از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری با رقم Lilian نداشت (شکل ٦). این تفاوت نیز گزارش شده و بررسی سطوح اثرات متقابل آبیاری و رقم در شکل (٧) نشان داد که در تیمارهای آبیاری مطلوب (شاهد) و تنش به‌ترتیب ارقام Cooper (تعداد ٣٠/٨ عدد) و Lilian (تعداد ٢٣/٧ عدد) بیشترین تعداد دانه در خورجین را تولید کردند درحالی‌که رقم Savanah کمترین تعداد دانه در خورجین را به تعداد ٢٠/٦ عدد دارا بود. همچنین در تیمارهای شاهد و تنش، رقم Lilian بیشترین عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ٢٨٨٧ و ١٤١١ کیلوگرم در هکتار تولید کرد، درحالی‌که رقم Savanah در شرایط تنش از کمترین عملکرد دانه به میزان ١٢١٠ کیلوگرم در هکتار برخوردار بود (شکل ٧). به‌نظر می‌رسد که رقم Lilian به‌واسطه برخورداری از تعداد خورجین بالا، تعداد دانه در خورجین زیاد و وزن هزار دانه مناسب توانست بیشترین عملکرد دانه را در تیمارهای آبیاری تولید کند (شکل ٧). این در حالی است که رقم Savanah به‌دلیل پایین بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین و کمترین وزن هزار دانه (به‌خصوص در شرایط تنش) از عملکرد دانه کمی در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی برخوردار بود (شکل ٧).



شکل ٦- مقایسه میانگین‌های صفات ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سه رقم کلزای مورد بررسی (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه (خطوط رسم شده در بالای هر ستون، خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌ها را نشان می‌دهد).

در این آزمایش، به‌منظور تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی از همبستگی هفت شاخص به کاربرده شده با عملکرد دانه در تیمارهای شاهد و قطع آبیاری استفاده شد. طبق نظر فرناندز (۱۹۹۲) مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش باشد. وی شاخص تحمل به تنش را شاخص مناسبی برای گزینش ارقام متحمل به تنش معرفی نمود، چون قادر است ارقامی را که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند را از ارقامی که فقط در شرایط بدون تنش و یا فقط در شرایط تنش عملکرد نسبتاً بالایی دارند، تفکیک نماید. براین اساس در این بررسی شاخص‌های GMP و STI به‌دلیل برخورداری از همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو تیمار آبیاری به‌منظور گزینش رقم متحمل به خشکی و با پتانسیل تولید بالا در شرایط مطلوب انتخاب شدند (جدول ٤).

جدول ٤- ضرایب همبستگی میان عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_p) و شرایط تنش خشکی (Y_s) و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی (n=۹).

	$Yp^{\dagger}$	Ys	TOL	MP	GMP	SSI	STI	REDUCT	YI	YSI
Y_p	۱									
Y_s	۰/۱٤	۱								
TOL	/۸۸**	-۰/۳۳	۱							
MP	/۹۰**	۰/٥٤	۰/٦۰	۱						
GMP	۰/۷۳*	/۷۸**	۰/۳۲	/۹٤**	۱					
SSI	۰/٦۷*	-۰/٦۲	۰/۹٤**	۰/۳۰	-۰/۰۱	۱				
STI	۰/۷۲*	/۷۸**	۰/۳۱	/۹٤**	/۹۹**	-۰/۰۲	۱			
REDUCT	۰/٦۷*	-۰/٦۲	۰/۹٤**	۰/۳۰	-۰/۰۱	۱/۰۰**	-۰/۰۲	۱		
YI	۰/۱٤	/۰۰**	-۰/۳۳	۰/٥٤	/۷۸**	-۰/٦۳	/۷۸**	-۰/٦۲	۱	
YSI	۰/٦۷*	۰/٦۲	۰/۹٤**	-۰/۳۰	۰/۰۰٥	۱/۰۰**	۰/۰۲	-۱/۰۰**	۰/٦۲	۱

Y_p†: عملکرد ارقام در شرایط تنش خشکی، Ys: عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص بهره وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، REDUCT: درصد کاهش، YI: شاخص عملکرد و YSI: شاخص پایداری عملکرد.

* و** به‌ترتیب در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد معنی‌دارمی‌باشند.

رامیرز- والجو و کلی (۱۹۹۸) بیان کردند که وقتی شدت تنش محیطی (SI) در آزمایشات بالاتر از ۰/۷ باشد، تنش شدیدی بر گیاهان اعمال شده است. در آزمایش حاضر اعمال قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، شدت تنشی (SI) در حدود ۰/٥۳ ایجاد کرد که با توجه به طبقه‌بندی فیشر و موثر (۱۹۷۸) شدت تنش خشکی در این بررسی در حد متوسط بوده است. در بررسی حاضر از نظر شاخص STI و GMP که مقادیر بالای آن‌ها (به‌ترتیب برابر با ۰/٥۳۸ و ۲۰۱۸/۱۹)، نشان‌دهنده تحمل ارقام می‌باشد، رقم Lilian به‌عنوان متحمل‌ترین تعیین شد (جدول ٤). بررسی عملکرد دانه رقم مذکور در هر دو شرایط تنش و بدون تنش نیز نشان داد که رقم Lilian از عملکرد بالایی در هر دو محیط برخوردار بود و گزینش آن براساس شاخص‌های مورد بررسی به درستی صورت گرفته است (جدول ٥). در این زمینه زبرجدی (۲۰۰۸) بیان کرد که مقدار بالای شاخص STI نمایانگر تحمل به خشکی بیشتر و عملکرد بالقوه بیشتر ژنوتیپ است. نتایج تحقیق حاضر با گزارشات نعیمی و همکاران (۲۰۰۸) در این زمینه مطابقت دارد.

جدول ۵ – برآورد شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی برای عملکرد دانه در ارقام کلزا

ارقام	عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد ارقام در شرایط تنش خشکی (کیلوگرم در هکتار)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص بهره وری متوسط (MP)	شاخص میانگین هندسی بهره-وری (GMP)	شاخص حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل به تنش (STI)	درصد کاهش (Reduction)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)
Lilian	۲۸۸۷/۵±۵۰	۱۴۱۱/۱±۲۴	۱۴۷۶/۴±۶۰	۲۱۴۹/۳±۲۵	۲۰۱۸/۲±۲۱	۰/۹۶±۰/۰۲	۰/۵۳±۰/۰۱	۰/۵۱±۰/۰۱	۱/۰۸±۰/۰۱	۰/۴۸±۰/۰۱
Cooper	۲۵۲۹/۲±۱۰۰	۱۲۷۷/۷±۱۸	۱۲۵۱/۴±۹۹	۱۹۰۳/۵±۵۲	۱۷۹۶/۹±۳۹	۰/۹۳±۰/۰۳	۰/۴۲±۰/۰۱	۰/۴۹±۰/۰۲	۰/۹۸±۰/۰۱	۰/۵۰±۰/۰۲
Savannah	۲۸۳۴/۷±۵۹	۱۲۱۰/۷±۴۴	۱۶۲۴/۱±۱۰۲	۲۰۲۲/۷±۱۲	۱۸۵۱/۰±۱۸	۱/۰۸±۰/۰۴	۰/۴۵±۰/۰۱	۰/۵۷±۰/۰۲	۰/۹۳±۰/۰۳	۰/۴۲±۰/۰۲

میانگین‌ها همراه با خطای استاندارد ($\bar{X} \pm SE$) ارائه شده است.

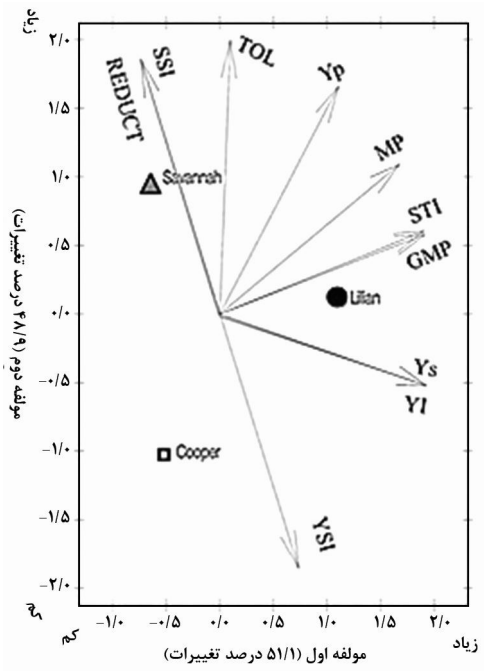
در این بررسی نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برحسب سهم هر مؤلفه و مقادیر بردارهای ویژه برای عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش به همراه هشت شاخص ارزیابی تحمل به خشکی در جدول ٦ و شکل (٨) نشان داده شده است. بر این اساس، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تیمارهای آبیاری سبب استخراج دو مؤلفه گردید که مؤلفه اول و دوم به ترتیب ٥١/١١ و ٤٨/٨٩ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کردند (جدول ٦). براین اساس دو مؤلفه اول و دوم به منظور تفسیر رابطه شاخص‌های مورد بررسی با آن‌ها انتخاب شدند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که شاخص‌های YI، STI، GMP و MP به همراه عملکرد دانه در شرایط تنش، بیشترین همبستگی را با مؤلفه اول داشتند (جدول ٦).

جدول ٦- درصد تغییرات توجیه شده توسط دو مؤلفه اصلی اول و دوم و بردارهای ویژه برای شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.

صفت	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
Yp *	٠/٢٤٥	٠/٣٧٥
Ys	٠/٤٢٦	-١١٨/٠
TOL	٠/٠٢١	٠/٤٥٢
MP	٠/٣٧٠	٠/٢٤٧
GMP	٠/٤٢١	٠/١٣٧
SSI	-٠/١٦٣	٠/٤٢٠
STI	٠/٤٢٣	٠/١٣٠
REDUCT	-٠/١٦٣	٠/٤٢٠
YI	٠/٤٢٦	-٠/١١٨
YSI	٠/١٦٣	-٠/٤٢٠
مقادیر ویژه	٥/١١١٠٨٦٤١٥	٤/٨٨٨٨٤٣٢٤
درصد واریانس تجمعی	٠/٥١١١١	٠/٩٩٩٩٩
درصد تغیرات توجیه شده توسط مؤلفه‌ها	٥١/١١١	٤٨/٨٨٨

*Yp: عملکرد ارقام در شرایط تنش خشکی، Ys: عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص بهره وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، REDUCT: درصد کاهش، YI: شاخص عملکرد و YSI: شاخص پایداری عملکرد.

بنابراین مؤلفه اول را می‌توان مؤلفه تحمل به خشکی نامید و انتخاب براساس مقادیر بیشتر این مؤلفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش محیطی خواهد شد که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالایی هستند (کاکایی و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین در دومین مؤلفه شاخص‌های TOL، SSI، REDUCT و YSI به همراه عملکرد دانه در شرایط بدون تنش دارای مقادیر بالایی بودند (جدول ٦) و انتخاب براساس مقادیر بیشتر این مؤلفه، می‌تواند موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل بالا ولی با حساسیت به تنش شود (کاکایی و همکاران، ۲۰۱۰). براساس بای پلات ترسیم شده برمبنای مؤلفه‌های اول و دوم در شکل (۸) ژنوتیپ Lilian در ناحیه‌ای با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی قرار گرفت که در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی STI، GMP و YI قرار داشتند.



شکل ۸- نمایش بای پلات شاخص‌های مورد مطالعه برای سه رقم کلزا براساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (Y_p: عملکرد ارقام در شرایط تنش خشکی، Y_s: عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص بهره وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، REDUCT: درصد کاهش، YI: شاخص عملکرد و YSI: شاخص پایداری عملکرد).

این در حالی است که ژنوتیپ Savanah در مجاورت شاخص‌های REDUCT و SSI در ناحیه‌ای با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و عملکرد پائین در شرایط تنش قرار گرفت. همچنین ژنوتیپ Cooper به دلیل مقادیر کم مؤلفه اول و کمترین میزان مؤلفه دوم کمترین عملکرد دانه در هر دو تیمار تنش و بدون تنش را داشت و تنها در نزدیکی شاخص YSI قرار داشت (شکل ٨). در بین شاخص‌های بررسی شده در این آزمایش تنها شاخص‌های STI و GMP با عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و بالایی داشتند که زوایای بسیار تند بین بردارهای این دو شاخص نسبت به هم نیز نشان از همبستگی مثبت و بسیار بالای آن‌ها با هم می‌باشد (فرناندز، ١٩٩٢). تا به حال در گیاهان زراعی مختلفی از جمله کلزا از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات به‌منظور انتخاب شاخص مناسب برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی استفاده شده است (کاکایی و همکاران، ٢٠١٠؛ چغاکبودی و همکاران، ٢٠١٢).

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای قطع آبیاری از مرحله گلدهی سبب کاهش چشمگیر و معنی‌دار هدایت روزنه‌ای، رطوبت نسبی برگ (RWC)، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در کلزا شد. در حالی‌که کلروفیل کل (SPAD) به موازات افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت. ارقام مورد بررسی در این آزمایش پاسخ‌های متفاوتی به اعمال قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی از نظر برخی صفات فیزیولوژی و زراعی نشان دادند و در شرایط تنش خشکی، رقم Lilian به واسطه هدایت روزنه‌ای بالا (١٩٦ میلی مول بر متر مربع در ثانیه)، بیشترین تعداد خورجین در بوته (٣٠٠ عدد)، وزن هزار دانه (٤/٠٦ گرم) و عملکرد دانه (١٤١١ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. همچنین در این بررسی شاخص‌های میانگین هندسی قابلیت تولید (GMP) و تحمل به تنش (STI) به دلیل همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، به منظور گزینش رقم متحمل به خشکی و با پتانسیل تولید بالا در شرایط مطلوب انتخاب شدند. براساس نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول مؤلفه تحمل به خشکی نامیده شد و شاخص‌های GMP و STI از بیشترین همبستگی با مؤلفه اول برخوردار بودند. علاوه بر آن، براساس ترسیم بای پلات حاصل از دو مؤلفه اصلی اول، رقم Lilian در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های GMP و STI قرار گرفت و با توجه به مقادیر بالای شاخص‌های GMP و STI، در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد دانه بیشتری نیز در مقایسه با دو رقم Cooper و Savanah تولید کرد.

منابع

1.Bouslama, M., and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Sci. 24:933-937.
2.Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M.R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iran. J. Agric. Sci. 8: 79-89.
3.Delkhosh, B., Shirani Rad., A.H., Noor-Mohammadi, GH., and Darvish, F. 2005. Study of drought stress effects on yield and some agronomic and physiological characteristic in rapeseed. J. Agric. Sci. 11: 165-176.
4.Edmeades, G.O., Chafan, S.C., Bolanos, J., Banziger, M., and Lafitte, H.R. 1994. Recent eveluatuion of progress in slecection fordrought tolerance in tropical maize. Fourth Eastern and Southern African Regional maize conference. Herare, Zimbabwe.
5.Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.C. (eds.), Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
6.Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. Aust. J. Agr. Res. 29:897- 912.
7.Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Can. J. Plant Sci. 77: 523-531.
8.Ghoghakabudi, Z., Zebarjadi, A., and Kahrizi, D. 2012. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field Conditions. Seed Plant Improvement J. 1: 17-38 (in Persian).
9.Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Mortensen, G., Fieldsend, J.K., Milford, G.F.J., Andersen, M.N., and Thage, J.H. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field- grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying evaporation demand. Field Crop Res. 47: 93-105.
10.Kakaei, M., Zebarjadi, A., Mostafaie, A., and Rezaeizad, A. 2010. Determination of drought tolerant genotypes in *Brassica napus* L. based on drought tolerance indices. Electronic J. Crop Prod. 3: 107-124.
11.Khan, M.A., Ashraf, M.Y., Mujtaba, S.M., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Shereen, A.S., Siddiqui, M.A., and Kaler, G.M. 2010. Evaluation of high yielding canola type *brassica* Genotypes/ mutants for drought tolerance using Physiological indices as screening tool. Pak. J. Bot. 42: 3807-3816.
12.Ma, Q., Niknam, S.R., and Turner, D.W. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Aust. J. Agri. Res. 57: 221-226.

13. Mujdeci, M., Senol, H., Cakmakci, T., and Celikok, P. 2011. The effects of different soil water matric suctions on stomatal resistance. J. Food. Agric. Environ. 9 : 1027-1029.
14. Naeemi, M., Akbari, Gh.A., Shirani Rad, A.H., Modares Sanavi, S.A.M., Sadat Nuri, S.A., and Jabari, H. 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Electronic J. Crop Prod. 1: 83-98.
15. Nasri, M., Khalatbari, M., Zahedi, H., Paknejad, F., and Tohidi Moghadam, H.R. 2008. Evaluation of micro and macro elements in drought stress condition in cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). Am. J. Agr. Biol. Sci. 3: 579-583.
16. Nielsen, D.C. 1997. Water use and yield of Canola under dry land condition in the Central Great Plains. J. Prod. Agric. 10: 303-313.
17. Niknam, S.R., Ma, Q., and Turner, W. 2003. Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* genotypes in a water-limited environmental in south western Australia. Aust. J. Exp. Agr. 43: 1127-1135.
18. Omae, H., Kumar, A., Kashiviba, K., and Shono, M. 2007. Assessing drought tolerance of Snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. Plant Prod. Sci. 10: 28-35.
19. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99: 127-136.
20. Rashidi, Sh., Shirani Rad, A.M., Ayene Band, A., Javidfar, F., and Lak, SH. 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.). Ann. Biol. Res, 3: 564-569
21. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1984. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sci. 21: 943-946.
22. Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noor-mohammadi, GH., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). Am-Eur J. Agr. 2:417-422.
23. Yamagushi, C., Kasuga, K., Liv, Q., Nakashima, K., Sakuma, Y., and Habe, J. 2002. Biological mechanisms of drought stress response. Jirkas Working Rking Report. Pp:1-8.
24. Zebarjadi, A.R. 2008. Study on effects of drought stress on yield and yield components in some of rapeseed (*Brassica napus*) winter genotypes. Final report of research No. 542. Razi University.

EJCP., Vol. 6 (4): 77-97
http://ejcp.gau.ac.ir

Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region

B. Shahrabi[1], E. Farahmandfar[2], T. Hassanlo[3], A.H. Shirani Rad[4] and S.A. Tabatabaee[5]

[1,2]M.Sc. student and Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Department of Agronomy, Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Crop Science, Sari University of Agricultural and Natural Resources, Mazandaran, Iran, [3]Research Assistant Prof., Department of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Alborz, Iran, [4]Research Associate Prof., Oil Seed Research Department, Seed and Plant Improvement institute, Karaj, Alborz, Iran, [5]Research Assistant Prof., Yazd Agricultural and Natural Resources Research Center, Yazd, Iran

Received: 01-30-2013; Accepted: 09-05-2013

Abstract

In order to study of drought stress on physiological and agronomical characteristics of rapeseed varieties, an experiment was carried out as split plot based on randomized complete block design with three replications at Yazd region during of 2011-2012. Irrigation treatments was designed in two levels as main plot including irrigation after 80 mm evaporation from evaporation pan, class A (control treatment) and drought stress as withholding irrigation from flowering stage, and varieties lilian, Cooper and Savannah as sub plots. Sampling stages was done 7, 12 and 26 days after treatment. The results indicated that drought stress significantly decreased the stomatal conductivity, relative water content (RWC), plant height, silique per plant, 1000 grain weight and grain yield, whereas, in comparison with control SPAD value was higher. Lilian indicated the higher stomatal conductivity (196 mmol m^{-2} s^{-1}) and RWC, silique per plant (300 silique), 1000 grain weight (4.06 g) and grain yield (1411 $kg.ha^{-1}$). In this study, Geometric mean productivity (GMP) and Stress tolerance index (STI) had the high correlation with grain yield in normal and drought stress conditions. Also, Bi-plot diagram based on two principal components indicated that Lilian variety with higher GMP and STI indices in addition with higher GMP and STI both in stress and non stress environment had the highest grain yield.

***Keywords*:** Relative water content, Stomata conductivity, Stress tolerance indices, Yield and yield components

*Corresponding author; thasanloo@abrii.ac.ir