ارزیابی مقاومت به سرما در کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش

حسن امیری اوغان[۱]، رضا عطایی[۱*]، مجید غلامحسینی[۱] و بهرام علیزاده[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۶)

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش ۱۲۰ ژنوتیپ کلزا (شامل ۱۰۰ هیبرید به‌همراه ۲۰ والد) از لحاظ تحمل تنش سرما، آزمایشی نتایج در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در دو تاریخ کشت نیمه اول مهر (نرمال) و نیمه اول آبان (تأخیری) طی دو سال در کرج اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر اختلاف دارند و تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود دارد. همچنین بین محیط‌ها (کشت معمول و تأخیری) در هر دو سال آزمایش تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. نتایج نشان داد تأخیر در کاشت باعث کاهش عملکرد دانه کلزا از ۴/۰۹ تن در هکتار (در شرایط کشت معمول و بدون تنش سرما) به ۲/۷۲ تن در هکتار (در شرایط کشت تأخیری وتنش سرما) شده است. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از شش شاخص تحمل به تنش سرما (MP، GMP، HARM، TOL، SSI و STI) نشان داد دو مؤلفه اول در حدود ۹۹/۸۵ درصد از تنوع موجود در جمعیت را توجیه می‌کند. بای‌پلات مؤلفه اول روی مؤلفه دوم ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مختلف تقسیم کرد و ۲۹ ژنوتیپ پرمحصول و متحمل به سرما را شناسایی کرد. تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مختلف تقسیم کرد و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه کلاستر مطابقت خوبی با نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد. نتایج همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به تنش با عملکرد در شرایط تنش (YP) و بدون تنش (YS) نشان داد دو شاخص TOL و SSI با YP (عملکرد در شرایط بدون تنش) دارای همبستگی مثبت و با YS (عملکرد در شرایط تنش) دارای همبستگی منفی هستند. علاوه بر این چهار شاخص MP، GMP، HARM و STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هردو شرایط تنش و بدون تنش بودند. نتایج این پژوهش نشان داد شاخص STI از کارامدی بالایی به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های کلزا برای تحمل سرما برخوردار بوده است و به‌طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی به‌کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: کاشت تأخیری، تنش سرما، شاخص‌های تحمل به تنش، کلزا

۱ و ۲. به‌ترتیب استادیاران و دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: reza_ataei@ut.ac.ir

مقدمه

جمعیت جهان به‌طور روزافزون در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که در پایان سال ۲۰۵۰ میلادی به حدود ۱۰ میلیارد نفر (۳۴ درصد افزایش) برسد که تقریباً همه افزایش جمعیت در کشورهای درحال توسعه خواهد بود. بر اساس گزارش سازمان خواروبار جهانی (FAO) برای تأمین امنیت غذایی جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ میلادی، رشد محصولات کشاورزی باید ۷۰ درصد افزایش یابد (۴۵) با این حال تولیدات محصولات کشاورزی به‌دلیل تأثیر انواع مختلف تنش‌های زیستی و غیر زیستی با کاهش چشمگیری روبه‌رو شده است. تنش‌های محیطی موجب کاهش قابل توجه عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (۱۸ و ۴۷).

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده کروسیفره و دومین گیاه روغنی مهم بعد از سویا است. دانه آن حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن و کنجاله آن نیز سرشار از پروتئین است (۱۶). امروزه اهمیت اقتصادی گیاه کلزا به‌عنوان گیاه روغنی سبب شده است که سطح زیر کشت آن افزایش یابد (۴۲). با این حال سرما یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید در کلزا (به‌ویژه کلزای زمستانه) است (۱). تقریباً تمامی مراحل رشد و نمو کلزا در معرض خطر سرمازدگی است اما حساس‌ترین مرحله رشد و نمو کلزا به سرما، مرحله زایشی گیاه است که بروز سرما در این مرحله سبب کاهش قابل توجه عملکرد گیاه می‌شود (۳۴). همچنین تنش سرما باعث کاهش سطح برگ، کاهش رشد، کاهش فتوسنتز، عدم تشکیل بذر و در نتیجه باعث کاهش عملکرد تا ۷۰ درصد می‌شود (۲۳، ۴۰ و ۴۱).

در کشت پاییزه کلزا، تاریخ کاشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. انتخاب تاریخ کاشت مناسب با وضعیت جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی منطقه ارتباط مستقیم دارد. از جمله عوامل مؤثر در کشت محصولات پاییزه، بهاره‌سازی و توانایی زمستان‌گذرانی گیاه است. به‌عنوان یک قانون کلی، کشت کلزا باید شش هفته قبل از اولین سرمای زمستان صورت گیرد تا گیاه قبل از فرا رسیدن سرما، از رشد و ذخیره غذایی کافی برخوردار باشد و بتواند در معرض کاهش تدریجی دمای هوا قرار گرفته و در برابر تنش سرما مقاومت کند.

کاشت تأخیری گیاهان پاییزه در مزرعه و ارزیابی زنده‌مانی و عملکرد گیاه یکی از بهترین راهکارهای ارزیابی مقاومت به سرما در گیاهان زراعی است (۶ و ۹). بر اساس مطالعات پیشین، بین مقاومت به سرما و نیاز به بهاره‌سازی در کلزا همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد و ارقامی که نیاز بهاره‌سازی بیشتری دارند تنش سرما را بهتر تحمل می‌کنند (۱، ۱۳ و ۳۷). هر چند نیاز بهاره‌سازی بیشتر شاخص خوبی برای گزینش ارقام متحمل به سرما در کلزا است با این حال برخی محققین معتقدند امکان شناسایی ارقام مقاوم به سرما با نیاز بهاره‌سازی کمتر وجود دارد (۳، ۴ و ۸).

تنش سرما و انجماد از جمله تنش‌های غالب در مناطق سرد و معتدل سرد کشور است و بیشتر در مورد گیاهانی مانند کلزا که در پاییز کشت می‌شوند رخ می‌دهد؛ بنابراین، بررسی واکنش ارقام و لاین‌های کلزا به کشت تأخیری و گزینش ژنوتیپ‌هایی که با وجود بهاره‌سازی کوتاه‌مدت در کشت‌های تأخیری مقاومت خوبی به سرما از خود نشان می‌دهند، تأثیر بسزایی در توسعه کشت کلزا به‌ویژه در مناطق سرد کشور خواهد داشت.

بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تحمل به تنش، ارقام مختلف را می‌توان به چهار گروه A، B، C و D تقسیم‌بندی کرد (۱۱). بر این اساس، مناسب‌ترین شاخص گزینش ارقام برای شرایط تنش، شاخصی است که قادر به تشخیص ارقام گروه A از سایر گروه‌ها باشد. امروزه شاخص‌های متفاوتی برای گزینش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش و بدون تنش ارائه شده است. شاخص حساسیت به تنش (SSI) توسط فیشر و مورر (۱۲) ارائه شده است و بر اساس آن هر چه مقدار این شاخص کوچک‌تر باشد، میزان تحمل به تنش بیشتر است. انتخاب بر اساس این شاخص سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط مطلوب و عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود. روزیل و هامبلین (۴۰) شاخص تحمل (TOL) و میانگین حسابی عملکرد (MP) را

ارائه کردند. مقادیر بالای شاخص تحمل بیانگر حساسیت بیشتر ارقام به تنش بوده است و هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، مطلوب‌تر است. شاخص میانگین حسابی عملکرد قادر به تفکیک ارقام گروه A از گروه B نیست و انتخاب بر اساس مقادیر بالای آن انجام می‌شود. فرناندز (۱۱) شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل به تنش (STI) را پیشنهاد کرد تا برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مورد استفاده قرار گیرد. مقادیر بالای شاخص تحمل به تنش برای یک ژنوتیپ، بیانگر تحمل بیشتر به تنش و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است.

بررسی ۱۶ ژنوتیپ کلزا در دو تاریخ کاشت متفاوت (تاریخ کاشت نرمال و تاریخ کاشت تأخیری برای ارزیابی تنش سرما) و برازش شاخص‌های تحمل به سرما نشان داد رقم GKH۲۰۰۵ بر اساس شاخص‌های SSI، GMP، MP و STI متحمل‌ترین رقم بود و رقم SLMO۴۶ کمترین مقاومت به تنش سرما را نشان داد (۳۲).

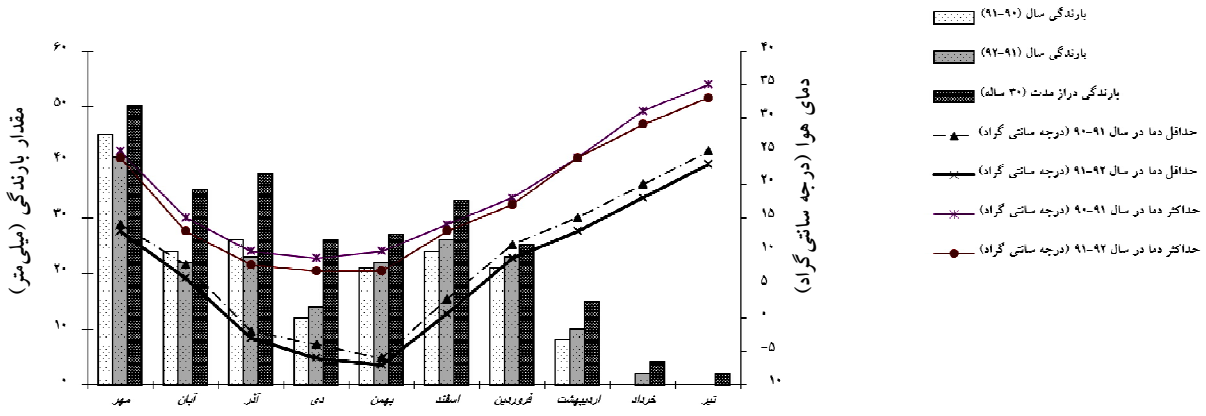
نتایج مقایسه شاخص‌های تحمل ارقام به تنش در گندم نشان داد در شرایط تنش متوسط شاخص‌های MP، GMP و STI برای شناسایی ارقام پرعملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش (ارقام گروه A) مناسب‌تر بود درحالی‌که در شرایط تنش شدید هیچ‌یک از شاخص‌ها قادر به شناسایی ارقام گروه A نبودند. نتایج این پژوهش نشان داد کارایی شاخص‌های تحمل ارقام برای تعیین ارقام مقاوم به تنش با شدت تنش ارتباط دارد (۴۳).

با توجه به اینکه بسیاری از اراضی مطلوب در مناطق غربی و شمالی کشور تحت تأثیر تنش سرما قرار دارند و به‌دلیل اهمیت کلزا به‌عنوان گیاه روغنی، هدف از انجام این تحقیق شناسایی ژنوتیپ‌های کلزای متحمل به سرما و مناسب برای کشت‌های تأخیری بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (طول جغرافیایی ۵۱ درجه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۱۲۳۱ متر ارتفاع از سطح دریا) در دو سال زراعی اجرا شد. در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، از ۱۵ آذرماه تا ۲۵ اسفندماه متوسط دمای منطقه ۴/۲ درجه سانتی‌گراد با ۱۰ روز دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱/۶- درجه سانتی‌گراد) و با چهار روز پوشش برفی بود. در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱، از ۱۵ آذرماه تا ۲۵ اسفندماه متوسط دمای منطقه ۲/۴ درجه سانتی‌گراد با ۲۰ روز دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد (متوسط ۵/۴- درجه سانتی‌گراد) و با ۱۰ روز پوشش برفی بود (شکل ۱). دمای پایه برای کلزای بهاره پنج درجه سانتی‌گراد (۳۱) و برای کلزای زمستانه صفر درجه سانتی‌گراد است (۱۷، ۲۹ و ۳۹). در کشت تأخیری (نیمه اول آبان) گیاه قبل از رسیدن به مرحله رزت با دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد مواجه شد (شکل ۱). آزمایش عناصر ماکرو، اسیدیته، هدایت الکتریکی و بافت خاک انجام پذیرفت و بر اساس آزمون خاک توصیه کودی صورت گرفت (جدول ۱).

مقدار فسفر و پتاسیم مورد نیاز به‌ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) تأمین شد. ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک استفاده شد و در مرحله دو تا چهار برگی، ساقه رفتن و شروع گل‌دهی نیز به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. وجین علف‌های هرز به‌روش دستی و آبیاری نیز به‌صورت نشتی و با سیفون انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول سه متر بود و ردیف‌های کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند. ۱۰ لاین متحمل به سرما به‌همراه ۱۰ تستر (جدول ۲) در بلوک‌های تلاقی کاشت و دورگ‌گیری بین آنها به‌صورت آرایش لاین × تستر (فاکتوریل) انجام شد. دورگ‌های نسل اول به‌همراه ۲۰ والد (در مجموع ۱۲۰ ژنوتیپ) در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار، در دو تاریخ کاشت معمول (نیمه اول مهر) و تأخیری (نیمه اول آبان) طی دو سال با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع در مزرعه تحقیقاتی کشت شد. عملکرد دانه به‌عنوان صفت نهایی از دو ردیف وسط با در نظر گرفتن نیم متر از دو طرف ردیف به‌عنوان اثر حاشیه مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱. میزان بارندگی، حداقل و حداکثر دمای کرج در سال‌های زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ و ۱۳۹۲-۱۳۹۱

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در کرج

مشخصات خاک مزرعه	سال اول	سال دوم
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۳۹	۱/۳۳
اسیدیته خاک	۷/۳	۷/۸
درصد کربن آلی	۰/۸۷	۰/۸۳
درصد نیتروژن کل	۰/۰۹	۰/۰۸
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۴/۷	۱۴/۲
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۷۱	۱۶۵
درصد رس	۳۱	۲۹
درصد سیلت	۴۴	۴۵
درصد شن	۲۵	۲۶
بافت خاک	رسی لومی	رسی لومی

جدول ۲. مشخصات لاین‌ها و تسترهای کلزای استفاده شده در این پژوهش

کد	لاین	تیپ رشد	منشأ	کد	تستر	تیپ رشد	منشأ
L۱	Zarfam	بینابین	ایران	T۱	Okapi	زمستانه	فرانسه
L۲	Talaye	زمستانه	ایران	T۲	Licord	زمستانه	آلمان
L۳	SLM۰۴۶	زمستانه	آلمان	T۳	Orient	زمستانه	آلمان
L۴	Geronimo	زمستانه	فرانسه	T۴	RGS۰۰۳	بهاره	آلمان
L۵	Modena	زمستانه	دانمارک	T۵	Sarigol	بهاره	ایران
L۵	Opera	زمستانه	سوئد	T۶	Option ۵۰۰	بهاره	کانادا
L۷	Symbol	زمستانه	ایتالیا	T۷	۱۹-H	بهاره	پاکستان
L۸	KS-۱۱	زمستانه	ایران	T۸	Shiralee	بهاره	استرالیا
L۹	Colvert	زمستانه	فرانسه	T۹	SAN-۱۴	بهاره	ایران
L۱۰	KS-۷	زمستانه	ایران	T۱۰	SAN-۱۲	بهاره	ایران

تجزیه واریانس مشاهدات و تصحیح میانگین داده‌ها بر اساس طرح آلفا لاتیس (۳۵) و با بهره‌گیری از نرم‌افزار PLABSTAT (۴۴) انجام شد. شاخص‌های مختلف مقاومت به تنش سرما شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI) (۱۲)، شاخص تحمل (TOL) (۴۰)، شاخص میانگین حسابی عملکرد (MP) (۴۰)، شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) (۱۱)، شاخص میانگین هارمونیک (HARM) (۱۱) و شاخص تحمل به تنش (STI) (۱۱) طبق روابط زیر محاسبه شد.

$$SSI = (1-\frac{Y_s}{Y_p}) / SI \quad (۱)$$

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (۲)$$

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (۳)$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (۴)$$

$$HARM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s} \quad (۵)$$

$$STI = (Y_p \times Y_s) / (\overline{Y}_p)^2 \quad (۶)$$

که در آن Y_P و Y_S به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در تاریخ‌های کاشت نرمال و تأخیری، $\overline{Y}_p$ و $\overline{Y}_s$ به‌ترتیب میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط کشت تأخیری و نرمال و SI عبارت از شدت تنش و برابر با $SI = 1-(\overline{Y}_s / \overline{Y}_p)$ است.

روش‌های آماری و تجزیه‌های چند متغیره (تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر) برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش سرما با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS، PAST و SAS انجام گرفت (۱۹ و ۲۶).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب بر پایه طرح آلفا لاتیس (پس از تأیید یکنواختی واریانس خطاها توسط آماره Fmax) نشان داد بین تاریخ کاشت‌ها در هر دو سال آزمایش تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود دارد، بنابراین میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری دارد و تأثیر تأخیر در کاشت بر عملکرد دانه کلزا متفاوت بود (جدول ۳). در بین گیاهان دانه روغنی، کلزا با وجود اینکه مقاومت خوبی به سرما از خود نشان می‌دهد اما به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به تغییر تاریخ کاشت حساس است. کاشت زودهنگام کلزا باعث افزایش تعداد خورجین در بوته می‌شود با این حال افزایش ریزش خورجین در کشت‌های زودهنگام به‌طورکلی باعث کاهش عملکرد دانه و روغن می‌شود. از طرفی کشت تأخیری کلزا باعث کاهش بنیه گیاه، کاهش ذخیره مواد غذایی در گیاه و افزایش خسارت تنش سرما روی عملکرد می‌شود (۲، ۳۳ و ۴۸). اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در جمعیت مورد مطالعه است. تنوع ژنتیکی یکی از اجزای مهم برنامه‌های اصلاحی است. تنوع ژنتیکی بین ارقام و لاین‌های کلزا (به‌ویژه ارقام بهاره کلزا) محدود است و افزایش تنوع ارقام کلزا همواره یکی از چالش‌های برنامه‌های اصلاحی کلزا است. با این حال تنوع ژنتیکی معنی‌داری برای صفات زراعی و مورفولوژیک کلزا گزارش شده است (۲۲ و ۴۱). میانگین مربعات والدین در برابر هیبریدها در سال اول آزمایش معنی‌دار بود. همچنین تجزیه اثر هیبریدها به اجزای خود نشان داد که اثر لاین‌ها (فقط در سال اول آزمایش)، تسترها و اثر متقابل لاین × تستر معنی‌دار بود و لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف واکنش‌های متفاوتی داشتند (جدول ۳).

عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط کاشت معمول از سه تن در هکتار برای هیبرید L۹ × T۷ تا ۴/۸۸ تن در هکتار برای هیبرید L۵ × T۹ متغیر بود. در شرایط کاشت تأخیری بیشترین عملکرد مربوط به هیبرید L۱۰ × T۹ با ۳/۳۴ تن در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به L۹ × T۷ با ۱/۸۶ تن در هکتار بود. میانگین عملکرد در شرایط کاشت معمول و بدون تنش سرما ۴/۰۹ تن در هکتار و در شرایط کاشت تأخیری و تنش سرما ۲/۷۲ تن در هکتار بود. این نتایج نشان داد به‌طور کلی کاشت تأخیری باعث کاهش ۳۴ درصدی عملکرد در مقایسه با کاشت معمول شده است. در شرایط کاشت معمول ۵۰ درصد ژنوتیپ‌ها (تعداد ۶۰ ژنوتیپ) و در شرایط کاشت تأخیری ۴۳ درصد (۵۲ ژنوتیپ) ژنوتیپ‌های مورد بررسی

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس مرکب بر اساس طرح آلفا لاتیس در دو شرایط کاشت نرمال و تأخیری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		سال اول آزمایش	سال دوم آزمایش
محیط (تاریخ کاشت)	۱	۱۱۸/۸۵**	۱۰۷/۴۱*
تیمار تصحیح‌شده	۱۱۹	۰/۳۶**	۰/۲۲**
والدین	۱۹	۰/۲۹**	۰/۱۱ns
والدین در برابر هیبریدها	۱	۰/۹۲**	۰/۰۰ ns
هیبریدها	۹۹	۰/۳۶**	۰/۲۵**
لاین‌ها	۹	۰/۶۰**	۰/۱۳ns
تسترها	۹	۰/۳۵**	۰/۲۶*
لاین × تستر	۸۱	۰/۳۴**	۰/۲۶**
تیمار × محیط	۱۱۹	۰/۲۴**	۰/۱۵**
والدین × محیط	۱۹	۰/۱۷ ns	۰/۱۰ ns
(والدین در برابر هیبریدها) × محیط	۱	۰/۰۶ ns	۰/۳۴*
هیبریدها × محیط	۹۹	۰/۲۵**	۰/۱۶**
لاین‌ها × محیط	۹	۰/۱۳ ns	۰/۰۸ ns
تسترها × محیط	۹	۰/۲۲*	۰/۱۲ ns
لاین × تستر × محیط	۸۱	۰/۲۷**	۰/۱۷**
خطا	۱۴۶	۰/۱۰	۰/۰۸

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

بالاتر از میانگین کل آزمایش قرار داشتند (جدول ۴). محاسبه شاخص‌های مقاومت به تنش (با شدت تنش SI=۰/۳۳۶) برای کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط کاشت نرمال و تأخیری طی دو سال زراعی در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیر بالای چهار شاخص میانگین حسابی عملکرد (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، میانگین هارمونیک عملکرد (HARM) و شاخص تحمل به تنش (STI) نشان‌دهنده تحمل به تنش است در حالی که مقادیر پایین چهار شاخص ذکر شده نشانگر حساسیت ژنوتیپ‌های مورد بررسی به تنش است (۲۳). بر این اساس ده درصد (۱۲ ژنوتیپ از مجموع ۱۲۰ ژنوتیپ مورد بررسی) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به سرما از لحاظ چهار شاخص بالا به ترتیب تحمل به سرما هیبریدهای T۱۰ × L۹ × T۷، L۱، T۱۰ × L۳، T۷ × L۷، T۲ × L۱۰، T۵ × L۱۰، T۶ × L۴، T۶ × L۷، T۱۰ × L۱۰، T۷ × L۳ و لاین L۴ بودند. همچنین ۱۰ درصد حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ چهار شاخص میانگین حسابی عملکرد میانگین هندسی عملکرد، میانگین هارمونیک عملکرد و شاخص تحمل به تنش به‌ترتیب هیبریدهای T۷ × L۹، T۳ × L۶، T۶ × L۹، T۴ × L۴، T۱ × L۷، T۴ × L۷، T۱ × L۵، T۴ × L۳، T۸ × L۲ و لاین‌های T۱، T۳ و T۲ بودند. مقادیر کم دو شاخص تحمل (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان‌دهنده مقاومت ژنوتیپ‌ها به تنش است درحالی‌که مقادیر بالای این دو شاخص ژنوتیپ‌های حساس به تنش را شناسایی می‌کند (۲۸). بر اساس این دو شاخص ۱۰ درصد متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش به تنش سرما به‌ترتیب تحمل به سرما هیبریدهای T۳ × L۱، T۲ × L۱، T۴ × L۷، T۱۰ × L۵،

جدول ۴. میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار) و شاخص‌های تحمل تنش سرما کلزا در شرایط کاشت نرمال و تأخیری

ردیف	ژنوتیپ	Y_P	Y_S	TOL	MP	GMP	HARM	STI	SSI
۱	T۱ × L۱	۴/۷۲	۲/۶۵	۲/۰۷	۳/۶۸	۳/۵۳	۳/۳۹	۰/۷۵	۱/۳۰
۲	T۱ × L۲	۴/۲۷	۲/۷۲	۱/۵۵	۳/۴۹	۳/۴۱	۳/۳۲	۰/۶۹	۱/۰۸
۳	T۱ × L۳	۴/۰۵	۲/۴۳	۱/۶۲	۳/۲۴	۳/۱۳	۳/۰۳	۰/۵۸	۱/۱۹
۴	T۱ × L۴	۴/۱۱	۲/۵۴	۱/۵۶	۳/۳۲	۳/۲۳	۳/۱۴	۰/۶۲	۱/۱۳
۵	T۱ × L۵	۳/۵۹	۲/۵۴	۱/۰۵	۳/۰۶	۳/۰۲	۲/۹۷	۰/۵۴	۰/۸۷
۶	T۱ × L۶	۳/۸۷	۲/۳۴	۱/۵۳	۳/۱۰	۳/۰۱	۲/۹۱	۰/۵۴	۱/۱۸
۷	T۱ × L۷	۳/۶۱	۲/۳۹	۱/۲۲	۳	۲/۹۳	۲/۸۷	۰/۵۱	۱
۸	T۱ × L۸	۴/۴۲	۲/۹۵	۱/۴۷	۳/۶۹	۳/۶۱	۳/۵۴	۰/۷۸	۰/۹۹
۹	T۱ × L۹	۳/۷۲	۲/۶۴	۱/۰۸	۳/۱۸	۳/۱۳	۳/۰۹	۰/۵۸	۰/۸۶
۱۰	T۱ × L۱۰	۳/۸۱	۲/۶۹	۱/۱۲	۳/۲۵	۳/۲۰	۳/۱۵	۰/۶۱	۰/۸۷
۱۱	T۲ × L۱	۳/۷۲	۳/۱۴	۰/۵۸	۳/۴۳	۳/۴۱	۳/۴۰	۰/۶۹	۰/۴۶
۱۲	T۲ × L۲	۳/۹۳	۲/۶۷	۱/۲۶	۳/۳۰	۳/۲۴	۳/۱۸	۰/۶۳	۰/۹۵
۱۳	T۲ × L۳	۴/۲۳	۲/۹۱	۱/۳۲	۳/۵۷	۳/۵۱	۳/۴۵	۰/۷۳	۰/۹۳
۱۴	T۲ × L۴	۴/۲۰	۳/۰۲	۱/۱۸	۳/۶۱	۳/۵۶	۳/۵۱	۰/۷۶	۰/۸۴
۱۵	T۲ × L۵	۴/۲۳	۲/۸۲	۱/۴۱	۳/۵۲	۳/۴۵	۳/۳۸	۰/۷۱	۰/۹۹
۱۶	T۲ × L۶	۴/۵۸	۲/۹۸	۱/۶۰	۳/۷۸	۳/۶۹	۳/۶۱	۰/۸۱	۱/۰۴
۱۷	T۲ × L۷	۳/۸۴	۲/۹۷	۰/۸۷	۳/۴۱	۳/۳۸	۳/۳۵	۰/۶۸	۰/۶۷
۱۸	T۲ × L۸	۴/۳۵	۲/۵۵	۱/۸۰	۳/۴۵	۳/۳۳	۳/۲۲	۰/۶۶	۱/۲۳
۱۹	T۲ × L۹	۳/۸۸	۲/۴۰	۱/۴۸	۳/۱۴	۳/۰۵	۲/۹۶	۰/۵۵	۱/۱۳
۲۰	T۲ × L۱۰	۴/۷۶	۳/۰۹	۱/۶۷	۳/۹۲	۳/۸۳	۳/۷۴	۰/۸۸	۱/۰۴
۲۱	T۳ × L۱	۳/۹۱	۳/۳۱	۰/۶۰	۳/۶۱	۳/۵۹	۳/۵۸	۰/۷۷	۰/۴۵
۲۲	T۳ × L۲	۴/۰۱	۲/۷۴	۱/۲۷	۳/۳۸	۳/۳۲	۳/۲۶	۰/۶۶	۰/۹۴
۲۳	T۳ × L۳	۴/۲۰	۲/۶۷	۱/۵۳	۳/۴۳	۳/۳۴	۳/۲۶	۰/۶۷	۱/۰۸
۲۴	T۳ × L۴	۳/۸۲	۲/۴۹	۱/۳۳	۳/۱۶	۳/۰۸	۳/۰۲	۰/۵۷	۱/۰۳
۲۵	T۳ × L۵	۴/۱۸	۳/۲۱	۰/۹۷	۳/۷۰	۳/۶۶	۳/۶۳	۰/۸۰	۰/۶۹
۲۶	T۳ × L۶	۳/۵۲	۲/۲۴	۱/۲۷	۲/۸۸	۲/۸۱	۲/۷۴	۰/۴۷	۱/۰۷
۲۷	T۳ × L۷	۴/۰۸	۳/۱۶	۰/۹۲	۳/۶۲	۳/۵۹	۳/۵۶	۰/۷۷	۰/۶۷
۲۸	T۳ × L۸	۳/۹۴	۲/۵۵	۱/۳۹	۳/۲۴	۳/۱۷	۳/۰۹	۰/۶۰	۱/۰۵
۲۹	T۳ × L۹	۳/۷۳	۲/۶۸	۱/۰۵	۳/۲۰	۳/۱۶	۳/۱۱	۰/۵۹	۰/۸۳
۳۰	T۳ × L۱۰	۳/۷۹	۲/۶۰	۱/۱۹	۳/۱۹	۳/۱۴	۳/۰۸	۰/۵۹	۰/۹۳
۳۱	T۴ × L۱	۴/۰۸	۲/۵۹	۱/۴۹	۳/۳۳	۳/۲۵	۳/۱۷	۰/۶۳	۱/۰۹
۳۲	T۴ × L۲	۳/۹۳	۲/۸۱	۱/۱۱	۳/۳۷	۳/۳۲	۳/۲۸	۰/۶۶	۰/۸۴
۳۳	T۴ × L۳	۳/۵۰	۲/۶۲	۰/۸۸	۳/۰۶	۳/۰۳	۳	۰/۵۵	۰/۷۴
۳۴	T۴ × L۴	۳/۶۰	۲/۳۸	۱/۲۲	۲/۹۹	۲/۹۳	۲/۸۷	۰/۵۱	۱
۳۵	T۴ × L۵	۴/۰۳	۲/۶۰	۱/۴۳	۳/۳۱	۳/۲۳	۳/۱۶	۰/۶۲	۱/۰۵
۳۶	T۴ × L۶	۳/۸۸	۲/۶۱	۱/۲۶	۳/۲۴	۳/۱۸	۳/۱۲	۰/۶۰	۰/۹۷
۳۷	T۴ × L۷	۳/۲۷	۲/۷۵	۰/۵۲	۳/۰۱	۳	۲/۹۹	۰/۵۴	۰/۴۷
۳۸	T۴ × L۸	۴/۲۱	۲/۹۲	۱/۲۹	۳/۵۶	۳/۵۰	۳/۴۴	۰/۷۳	۰/۹۱
۳۹	T۴ × L۹	۴/۳۹	۲/۵۶	۱/۸۳	۳/۴۸	۳/۳۵	۳/۲۳	۰/۶۷	۱/۲۴
۴۰	T۴ × L۱۰	۴/۴۳	۲/۴۰	۲/۰۳	۳/۴۱	۳/۲۶	۳/۱۱	۰/۶۳	۱/۳۶
۴۱	T۵ × L۱	۳/۸۸	۲/۶۸	۱/۱۹	۳/۲۸	۳/۲۲	۳/۱۷	۰/۶۲	۰/۹۱

ادامه جدول ۴.

ردیف	ژنوتیپ	Y_P	Y_S	TOL	MP	GMP	HARM	STI	SSI
۴۲	T۵ × L۲	۴/۰۱	۲/۳۴	۱/۶۶	۳/۱۷	۳/۰۶	۲/۹۵	۰/۵۶	۱/۲۳
۴۳	T۵ × L۳	۴/۲۷	۲/۹۵	۱/۳۱	۳/۶۱	۳/۵۵	۳/۴۹	۰/۷۵	۰/۹۱
۴۴	T۵ × L۴	۴/۴۶	۲/۹۵	۱/۵۰	۳/۷۰	۳/۶۳	۳/۵۵	۰/۷۸	۱
۴۵	T۵ × L۵	۴/۳۷	۲/۶۳	۱/۷۴	۳/۵۰	۳/۳۹	۳/۲۸	۰/۶۹	۱/۱۸
۴۶	T۵ × L۶	۴/۵۳	۲/۸۱	۱/۷۲	۳/۶۷	۳/۵۷	۳/۴۷	۰/۷۶	۱/۱۳
۴۷	T۵ × L۷	۳/۹۰	۲/۶۰	۱/۳۰	۳/۲۵	۳/۱۸	۳/۱۲	۰/۶۰	۰/۹۹
۴۸	T۵ × L۸	۴/۱۳	۲/۵۹	۱/۵۴	۳/۳۶	۳/۲۷	۳/۱۸	۰/۶۴	۱/۱۱
۴۹	T۵ × L۹	۴/۰۱	۲/۵۷	۱/۴۴	۳/۲۹	۳/۲۱	۳/۱۳	۰/۶۱	۱/۰۷
۵۰	T۵ × L۱۰	۴/۴۶	۳/۲۷	۱/۱۸	۳/۸۶	۳/۸۲	۳/۷۷	۰/۸۷	۰/۷۹
۵۱	T۶ × L۱	۴/۱۸	۲/۸۳	۱/۳۵	۳/۵۱	۳/۴۴	۳/۳۸	۰/۷۱	۰/۹۶
۵۲	T۶ × L۲	۳/۹۹	۲/۴۳	۱/۵۵	۳/۲۱	۳/۱۱	۳/۰۲	۰/۵۸	۱/۱۶
۵۳	T۶ × L۳	۴/۵۲	۲/۴۱	۲/۱۱	۳/۴۶	۳/۳۰	۳/۱۴	۰/۶۵	۱/۳۹
۵۴	T۶ × L۴	۴/۶۲	۲/۹۹	۱/۶۳	۳/۸۰	۳/۷۱	۳/۶۳	۰/۸۲	۱/۰۵
۵۵	T۶ × L۵	۳/۸۴	۲/۵۲	۱/۳۱	۳/۱۸	۳/۱۱	۳/۰۴	۰/۵۸	۱/۰۲
۵۶	T۶ × L۶	۳/۸۶	۲/۵۳	۱/۳۳	۳/۱۹	۳/۱۲	۳/۰۵	۰/۵۸	۱/۰۲
۵۷	T۶ × L۷	۴/۶۱	۳/۰۸	۱/۵۳	۳/۸۴	۳/۷۶	۳/۶۹	۰/۸۵	۰/۹۸
۵۸	T۶ × L۸	۳/۷۵	۲/۶۹	۱/۰۵	۳/۲۲	۳/۱۷	۳/۱۳	۰/۶۰	۰/۸۳
۵۹	T۶ × L۹	۳/۴۵	۲/۳۷	۱/۰۸	۲/۹۱	۲/۸۶	۲/۸۱	۰/۴۹	۰/۹۳
۶۰	T۶ × L۱۰	۴/۲۰	۲/۷۸	۱/۴۱	۳/۴۹	۳/۴۲	۳/۳۴	۰/۷۰	۱
۶۱	T۷ × L۱	۴/۷۴	۳/۲۶	۱/۴۸	۴	۳/۹۳	۳/۸۶	۰/۹۲	۰/۹۳
۶۲	T۷ × L۲	۴/۷۴	۲/۵۶	۲/۱۷	۳/۶۵	۳/۴۸	۳/۳۲	۰/۷۲	۱/۳۶
۶۳	T۷ × L۳	۴/۴۰	۳/۱۱	۱/۲۹	۳/۷۵	۳/۷۰	۳/۶۴	۰/۸۲	۰/۸۷
۶۴	T۷ × L۴	۴/۱۵	۲/۹۱	۱/۲۳	۳/۵۳	۳/۴۷	۳/۴۲	۰/۷۲	۰/۸۸
۶۵	T۷ × L۵	۳/۸۹	۲/۷۳	۱/۱۵	۳/۳۱	۳/۲۶	۳/۲۱	۰/۶۳	۰/۸۸
۶۶	T۷ × L۶	۴	۳/۰۸	۰/۹۲	۳/۵۴	۳/۵۱	۳/۴۸	۰/۷۳	۰/۶۸
۶۷	T۷ × L۷	۴/۷۸	۳/۱۲	۱/۶۵	۳/۹۵	۳/۸۶	۳/۷۷	۰/۸۹	۱/۰۳
۶۸	T۷ × L۸	۳/۴۷	۲/۷۵	۰/۷۱	۳/۱۱	۳/۰۹	۳/۰۷	۰/۵۷	۰/۶۱
۶۹	T۷ × L۹	۲/۹۹	۱/۸۵	۱/۱۴	۲/۴۲	۲/۳۵	۲/۲۹	۰/۳۳	۱/۱۳
۷۰	T۷ × L۱۰	۴/۳۵	۲/۶۳	۱/۷۲	۳/۴۹	۳/۳۸	۳/۲۷	۰/۶۸	۱/۱۸
۷۱	T۸ × L۱	۴/۲۳	۲/۸۲	۱/۴۱	۳/۵۲	۳/۴۵	۳/۳۸	۰/۷۱	۰/۹۹
۷۲	T۸ × L۲	۳/۵۴	۲/۶۲	۰/۹۲	۳/۰۸	۳/۰۵	۳/۰۱	۰/۵۵	۰/۷۷
۷۳	T۸ × L۳	۴/۱۵	۲/۵۹	۱/۵۶	۳/۳۷	۳/۲۸	۳/۱۹	۰/۶۴	۱/۱۲
۷۴	T۸ × L۴	۳/۸۷	۲/۷۷	۱/۱۰	۳/۳۲	۳/۲۷	۳/۲۲	۰/۶۴	۰/۸۴
۷۵	T۸ × L۵	۴/۳۲	۲/۵۹	۱/۷۳	۳/۴۵	۳/۳۴	۳/۲۴	۰/۶۷	۱/۱۹
۷۶	T۸ × L۶	۳/۹۳	۲/۷۰	۱/۲۳	۳/۳۱	۳/۲۵	۳/۲۰	۰/۶۳	۰/۹۳
۷۷	T۸ × L۷	۴/۵۸	۲/۴۵	۲/۱۲	۳/۵۱	۳/۳۵	۳/۱۹	۰/۶۷	۱/۳۸
۷۸	T۸ × L۸	۳/۶۱	۲/۵۷	۱/۰۴	۳/۰۹	۳/۰۵	۳	۰/۵۵	۰/۸۵
۷۹	T۸ × L۹	۴/۴۰	۲/۷۶	۱/۶۴	۳/۵۸	۳/۴۸	۳/۳۹	۰/۷۲	۱/۱۱
۸۰	T۸ × L۱۰	۴/۱۳	۲/۸۷	۱/۲۵	۳/۵۰	۳/۴۴	۳/۳۹	۰/۷۱	۰/۹۰
۸۱	T۹ × L۱	۴/۵۴	۲/۴۰	۲/۱۴	۳/۴۷	۳/۳۰	۳/۱۴	۰/۶۵	۱/۴۰
۸۲	T۹ × L۲	۴/۸۴	۲/۴۵	۲/۳۹	۳/۶۵	۳/۴۴	۳/۲۵	۰/۷۱	۱/۴۷
۸۳	T۹ × L۳	۴/۱۱	۲/۶۸	۱/۴۳	۳/۳۹	۳/۳۲	۳/۲۴	۰/۶۶	۱/۰۳

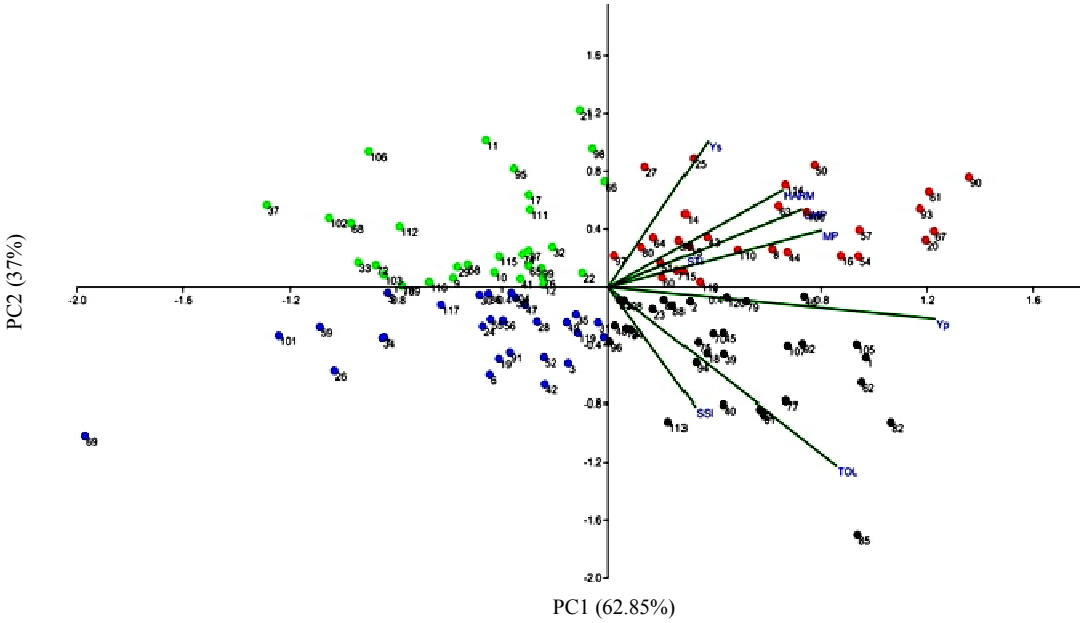
ادامه جدول ۴.

ردیف	ژنوتیپ	Y_P	Y_S	TOL	MP	GMP	HARM	STI	SSI
۸۴	T۹ × L۴	۴/۱۶	۲/۵۹	۱/۵۷	۳/۳۷	۳/۲۸	۳/۱۹	۰/۶۴	۱/۱۲
۸۵	T۹ × L۵	۴/۸۸	۲/۰۷	۲/۸۱	۳/۴۷	۳/۱۷	۲/۹۰	۰/۶۰	۱/۷۱
۸۶	T۹ × L۶	۳/۸۱	۲/۶۱	۱/۲۰	۳/۲۱	۳/۱۵	۳/۱۰	۰/۵۹	۰/۹۴
۸۷	T۹ × L۷	۳/۸۸	۲/۷۸	۱/۰۹	۳/۳۳	۳/۲۸	۳/۲۴	۰/۶۴	۰/۸۴
۸۸	T۹ × L۸	۴/۲۴	۲/۶۹	۱/۵۴	۳/۴۶	۳/۳۸	۳/۲۹	۰/۶۸	۱/۰۸
۸۹	T۹ × L۹	۴/۲۲	۲/۷۱	۱/۵۱	۳/۴۶	۳/۳۸	۳/۳۰	۰/۶۸	۱/۰۶
۹۰	T۹ × L۱۰	۴/۸۱	۳/۳۳	۱/۴۸	۴/۰۷	۴	۳/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۱
۹۱	T۱۰ × L۱	۳/۹۰	۲/۴۲	۱/۴۸	۳/۱۶	۳/۰۷	۲/۹۹	۰/۵۶	۱/۱۲
۹۲	T۱۰ × L۲	۴/۵۷	۲/۶۵	۱/۹۱	۳/۶۱	۳/۴۸	۳/۳۵	۰/۷۲	۱/۲۴
۹۳	T۱۰ × L۳	۴/۷۳	۳/۱۹	۱/۵۳	۳/۹۶	۳/۸۸	۳/۸۱	۰/۹۰	۰/۹۶
۹۴	T۱۰ × L۴	۴/۳۴	۲/۵۲	۱/۸۲	۳/۴۳	۳/۳۰	۳/۱۸	۰/۶۵	۱/۲۵
۹۵	T۱۰ × L۵	۳/۷۹	۳/۰۵	۰/۷۴	۳/۴۲	۳/۴۰	۳/۳۸	۰/۶۹	۰/۵۸
۹۶	T۱۰ × L۶	۴/۱۲	۲/۵۳	۱/۵۹	۳/۳۲	۳/۲۳	۳/۱۳	۰/۶۲	۱/۱۵
۹۷	T۱۰ × L۷	۴/۰۷	۲/۸۲	۱/۲۵	۳/۴۵	۳/۳۹	۳/۳۳	۰/۶۸	۰/۹۱
۹۸	T۱۰ × L۸	۳/۹۶	۳/۱۸	۰/۷۷	۳/۵۷	۳/۵۵	۳/۵۳	۰/۷۵	۰/۵۸
۹۹	T۱۰ × L۹	۳/۹۲	۲/۷۳	۱/۱۸	۳/۳۲	۳/۲۷	۳/۲۲	۰/۶۴	۰/۹۰
۱۰۰	T۱۰ × L۱۰	۴/۴۷	۳/۱۰	۱/۳۷	۳/۷۹	۳/۷۲	۳/۶۶	۰/۸۳	۰/۹۱
۱۰۱	T۱	۳/۳۷	۲/۳۲	۱/۰۵	۲/۸۴	۲/۷۹	۲/۷۴	۰/۴۶	۰/۹۲
۱۰۲	T۲	۳/۴۱	۲/۷۵	۰/۶۶	۳/۰۸	۳/۰۶	۳/۰۵	۰/۵۶	۰/۵۷
۱۰۳	T۳	۳/۵۷	۲/۶۰	۰/۹۷	۳/۰۸	۳/۰۴	۳	۰/۵۵	۰/۸۱
۱۰۴	T۴	۳/۸۶	۲/۶۲	۱/۲۴	۳/۲۴	۳/۱۸	۳/۱۲	۰/۶۰	۰/۹۵
۱۰۵	T۵	۴/۶۹	۲/۶۹	۲	۳/۶۹	۳/۵۵	۳/۴۲	۰/۷۵	۱/۲۷
۱۰۶	T۶	۳/۴۷	۳/۰۱	۰/۴۵	۳/۲۴	۳/۲۳	۳/۲۲	۰/۶۲	۰/۳۹
۱۰۷	T۷	۴/۵۳	۲/۶۳	۱/۹۰	۳/۵۸	۳/۴۵	۳/۳۳	۰/۷۱	۱/۲۴
۱۰۸	T۸	۴/۱۳	۲/۶۸	۱/۴۵	۳/۴۰	۳/۳۲	۳/۲۵	۰/۶۶	۱/۰۴
۱۰۹	T۹	۳/۶۱	۲/۵۷	۱/۰۴	۳/۰۹	۳/۰۵	۳	۰/۵۵	۰/۸۵
۱۱۰	T۱۰	۴/۳۴	۲/۹۳	۱/۴۱	۳/۶۳	۳/۵۶	۳/۵۰	۰/۷۶	۰/۹۷
۱۱۱	L۱	۳/۸۵	۲/۹۲	۰/۹۳	۳/۳۹	۳/۳۵	۳/۳۲	۰/۶۷	۰/۷۱
۱۱۲	L۲	۳/۵۷	۲/۷۷	۰/۸۰	۳/۱۷	۳/۱۵	۳/۱۲	۰/۵۹	۰/۶۶
۱۱۳	L۳	۴/۳۳	۲/۳۱	۲/۰۲	۳/۳۲	۳/۱۶	۳/۰۱	۰/۵۹	۱/۳۹
۱۱۴	L۴	۴/۴۰	۳/۱۸	۱/۲۲	۳/۷۹	۳/۷۴	۳/۶۹	۰/۸۴	۰/۸۲
۱۱۵	L۵	۳/۸۱	۲/۷۴	۱/۰۷	۳/۲۸	۳/۲۳	۳/۱۹	۰/۶۲	۰/۸۳
۱۱۶	L۶	۳/۶۷	۲/۶۱	۱/۰۶	۳/۱۴	۳/۰۹	۳/۰۵	۰/۵۷	۰/۸۶
۱۱۷	L۷	۳/۷۱	۲/۵۴	۱/۱۷	۳/۱۲	۳/۰۷	۳/۰۱	۰/۵۶	۰/۹۴
۱۱۸	L۸	۴/۲۸	۲/۷۹	۱/۴۹	۳/۵۴	۳/۴۶	۳/۳۸	۰/۷۱	۱/۰۳
۱۱۹	L۹	۴/۰۴	۲/۵۴	۱/۵۰	۳/۲۹	۳/۲۰	۳/۱۲	۰/۶۱	۱/۱۰
۱۲۰	L۱۰	۴/۳۶	۲/۷۶	۱/۶۰	۳/۵۶	۳/۴۶	۳/۳۸	۰/۷۲	۱/۰۹

Y_p و Y_s: به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در تاریخ‌های کاشت نرمال و تأخیری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین حسابی عملکرد، GMP: شاخص میانگین هندسی عملکرد، HARM: شاخص میانگین هارمونیک و STI: شاخص تحمل به تنش

T۷ × L۶ ،T۳ × L۷ ،T۲ × L۷ ،T۷ × L۸ ،T۱۰ × L۸ و لاین‌های T۶، T۲ و L۲ بودند، درحالی‌که حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بر اساس این دو شاخص به‌ترتیب حساسیت T۹ × L۵ ،T۹ × L۲ ،T۹ × L۱ ،T۹ × L۳ ،T۶ × L۷ ،T۸ × L۲ ،T۷ × L۱۰ ،T۴ × L۱ ،T۱ × L۴ ،T۱۰ × L۲ ،T۱۰ × L۳ و لاین‌های L۳ و T۵ بودند. نتایج این بررسی نشان داد تأخیر در کاشت تأثیر معنی‌داری بر کاهش عملکرد (۳۴ درصد) داشته است. بررسی اثر تأخیر در کاشت در کلزا طی دو سال در دو منطقه نشان داد تغییر تاریخ کاشت از اوایل فروردین (اواخر ماه مارس میلادی) به اواخر فروردین (اوایل ماه آوریل میلادی) باعث کاهش پنج درصدی عملکرد شد و تغییر تاریخ کاشت از اواخر فروردین به اواخر اردیبهشت ۴۳ تا ۶۳ درصد عملکرد را کاهش داد (۵). همچنین بررسی اثر چهار تاریخ کاشت روی عملکرد و صفات فیزیولوژیکی کلزا نشان داد کشت تأخیری از طریق کاهش تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه باعث کاهش ۳۰ تا ۷۰ درصدی عملکرد می‌شود. علاوه بر این نتایج آنالیز قندهای گل‌آذین (شامل فروکتوز، گلوکز و ساکارز) نشان داد مقدار این قندها در کشت تأخیری بسیار بیشتر از تاریخ کاشت نرمال بود. این نتایج نشان داد در کشت نرمال مقدار زیادی از این قندها صرف تولید زیست‌توده گیاه شده و از این طریق باعث افزایش عملکرد می‌شود (۲۰). در پژوهشی به‌منظور بررسی اثر تأخیر در کاشت روی عملکرد دانه گزارش شد کاهش غلظت فروکتان در کشت تأخیری باعث کاهش مقاومت به سرما می‌شود و تغییرات فیزیولوژیک گیاه در چنین شرایطی باعث کاهش عملکرد می‌شود (۱۴). بررسی اثر تأخیر کاشت روی عملکرد دانه نخود نشان داد کاهش عملکرد ارتباط نزدیکی با کاهش تولید ماده خشک و کاهش دوام سطح برگ دارد (۲۷). کاهش عملکرد در کلزا در مطالعه‌ای به کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه نسبت داده شد (۲۰). هرچند دلایل مختلفی برای کاهش عملکرد در کشت‌های تأخیری بیان شده است اما به‌طور واضح مشخص است که تأخیر در کاشت باعث کاهش بیوماس می‌شود. علاوه بر این کاهش عملکرد در کشت‌های تأخیری با عوامل محیطی مانند کاهش دما، کاهش نور و تغییرات فیزیولوژیک ارتباط نزدیکی دارد. اختلاف میانگین دمای کرج در ماه‌های مهر و آبان در حدود هشت درجه سانتی‌گراد است بنابراین دمای پایین می‌تواند باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی شود، علاوه‌بر این دمای پایین بعد از جوانه‌زنی سرعت رشد گیاهچه را نیز کاهش می‌دهد و از همه مهم‌تر کشت تأخیری در کلزا به‌دلیل عدم انطباق مرحله روزت گیاه با دمای پایین زمستان باعث کاهش بنیه گیاه، کاهش ذخیره مواد غذایی و افزایش خسارت تنش سرما روی عملکرد می‌شود. در این بررسی چهار شاخص MP، GMP، HARM و STI و دو شاخص TOL و SSI ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به تنش را به‌طور مشابه دسته‌بندی کردند. شیرانی‌راد و عباسیان (۳۶) نشان دادند سه شاخص MP، GMP و STI در شناسایی ارقام مقاوم به تنش کلزا به‌طور مشابه با یکدیگر عمل می‌کنند. همچنین بر اساس گزارش‌های پیشین، ارزیابی ارقام ذرت و گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل نشان داد سه شاخص GMP، HARM و STI ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به تنش را به‌طور مشابه شناسایی کردند. علاوه بر این همبستگی بین دو شاخص TOL و SSI در ارزیابی ارقام ذرت ۸۹ درصد براورد شد (۲۱ و ۲۴).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد مؤلفه اول ۶۲/۸۵ درصد و مؤلفه دوم ۳۷ درصد و دو مؤلفه اول ۹۹/۸۵ درصد از کل تنوع موجود را توجیه می‌کند (شکل ۲). مؤلفه اول به‌عنوان عملکرد در شرایط نرمال و مؤلفه دوم به‌عنوان عملکرد در شرایط تنش نام‌گذاری شد و مؤلفه اول بیشترین همبستگی را با عملکرد در شرایط معمول (YP)، میانگین حسابی عملکرد (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل به تنش (STI) داشت، درحالی‌که مؤلفه دوم بیشترین همبستگی را با عملکرد در شرایط تنش (YS)، شاخص تحمل (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) داشت. بای‌پلات مؤلفه اول روی مؤلفه دوم ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه تقسیم کرد. گروه اول (گروه A) شامل

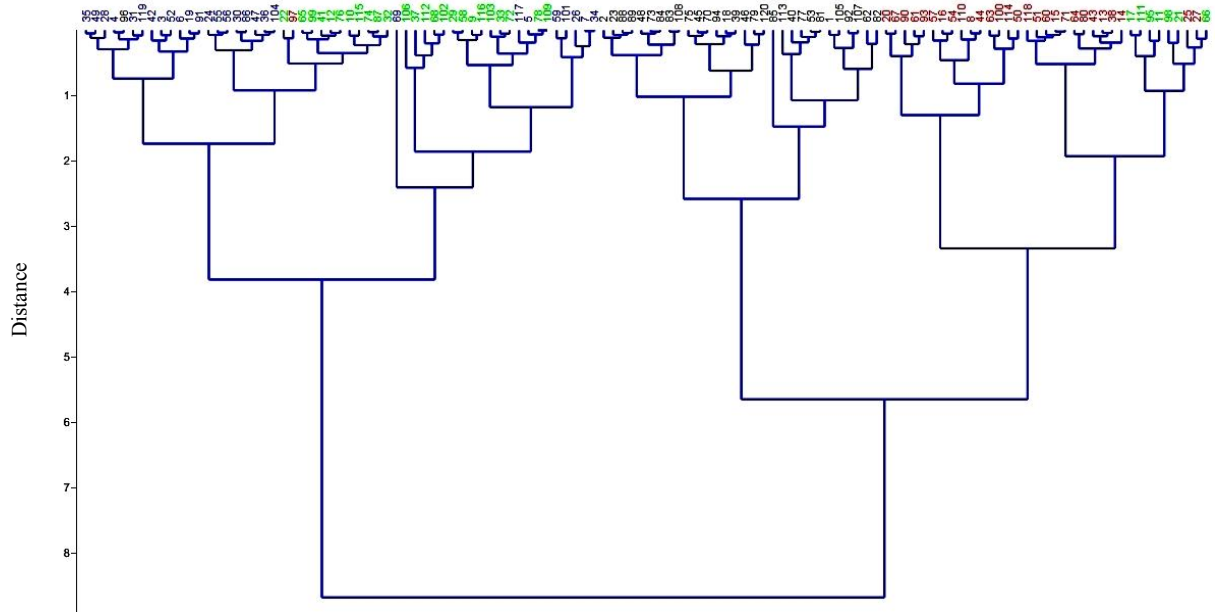


شکل ۲. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تقسیم ژنوتیپ‌ها به چهار گروه A (رنگ قرمز)، B (رنگ سبز)، C (رنگ سیاه) و D (رنگ آبی)

ژنوتیپ‌هایی بود که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از عملکرد بالایی برخوردار بودند. این ژنوتیپ‌ها سازگاری خوبی برای محیط‌های تنش و بدون تنش دارند و قابل توصیه برای هر دو محیط هستند. گروه دوم (گروه B) شامل ژنوتیپ‌هایی بود که فقط در شرایط تنش دارای عملکرد بالایی بودند این ژنوتیپ‌ها به‌دلیل اینکه در شرایط نرمال از کاهش عملکرد قابل‌توجهی برخوردارند بنابراین مناسب کشت در شرایط بدون تنش نیستند. گروه سوم (گروه C) برخلاف گروه دوم (گروه B) شامل ژنوتیپ‌هایی بود که با وجود عملکرد بالا در شرایط بدون تنش، در شرایط تنش از کاهش عملکرد قابل‌توجهی برخوردار بودند و گروه چهارم (گروه D) شامل ژنوتیپ‌هایی بودند که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از عملکرد پایینی برخوردار بودند (شکل ۲).

تجزیه کلاستر به روش Ward تقریباً مشابه با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تمامی ژنوتیپ‌ها را در چهار کلاستر مختلف دسته‌بندی کرد (شکل ۳). کلاستر اول اغلب (۸۰ درصد) شامل ژنوتیپ‌های مشابه با گروه A در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بودند. کلاستر دوم شامل تمام ژنوتیپ‌هایی بود که در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در گروه C قرار داشتند. در این گروه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر تطابق خوبی با یکدیگر نشان دادند. در حدود ۶۳/۶ درصد از ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد بالایی داشتند (ژنوتیپ‌های گروه B در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی) در کلاستر سوم قرار گرفتند و ۶۰/۶ درصد ژنوتیپ‌های کلاستر چهارم شامل ژنوتیپ‌هایی بودند که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از عملکرد خوبی برخوردار نبودند و هم‌ارز با گروه D در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بودند. هرچند فقط کلاستر دوم مطابقت صد درصدی با بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی داشت، با این حال این نتایج نشان داد دو روش چند متغیره تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر از مطابقت خوبی با یکدیگر برخوردارند (شکل ۳).

به‌منظور شناسایی ارقام متحمل به تنش‌های غیر زنده شاخص‌های زیادی پیشنهاد شده است (۳۴). در این بررسی شش شاخص MP، GMP، HARM، TOL، STI و SSI به‌کار گرفته شد. با این حال به‌منظور تعیین کارامدی این شاخص‌ها در تعیین ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی داشته باشد همبستگی بین شاخص‌ها بررسی شد



شکل ۳. دندروگرام حاصل از شاخص‌های تحمل به سرما در ژنوتیپ‌های کلزا

جدول ۵. همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به تنش

	Y_P	Y_S	TOL	MP	GMP	HARM	STI	SSI
Y_P	۱							
Y_S	۰/۳۱**	۱						
TOL	۰/۷۶**	-۰/۳۷**	۱					
MP	۰/۸۸**	۰/۷۳**	۰/۳۷**	۱				
GMP	۰/۸۰**	۰/۸۲**	۰/۲۲*	۰/۹۹**	۱			
HARM	۰/۷۰**	۰/۹۰**	۰/۰۷ns	۰/۹۵**	۰/۹۹**	۱		
STI	۰/۷۹**	۰/۸۲**	۰/۲۱*	۰/۹۸**	۱**	۰/۹۹**	۱	
SSI	۰/۵۷**	-۰/۶۰**	۰/۹۶**	۰/۱۱ns	-۰/۰۳ns	-۰/۱۸*	-۰/۰۴	۱

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، سطح احتمال معنی‌داری پنج درصد و یک درصد

Y_p و Y_s: به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در تاریخ‌های کاشت نرمال و تأخیری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین حسابی عملکرد، GMP: شاخص میانگین هندسی عملکرد، HARM: شاخص میانگین هارمونیک و STI: شاخص تحمل به تنش

(جدول ۵). اغلب همبستگی‌ها بین شاخص‌های مقاومت به تنش مثبت و معنی‌دار بودند و به‌طورکلی اغلب شاخص‌ها ژنوتیپ‌ها را به‌طور مشابه رتبه‌بندی می‌کنند (۳۰).

همبستگی مثبت و معنی‌دار دو شاخص TOL و SSI با YP (عملکرد در شرایط بدون تنش) و همبستگی منفی و معنی‌دار این دو شاخص با YS (عملکرد در شرایط تنش) نشان داد این دو شاخص ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در شرایط بدون تنش از عملکرد پایینی برخوردارند و در شرایط تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند (گروه B) (۳۸ و ۴۶). چهار شاخص MP، GMP، HARM و STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هردو شرایط تنش و بدون تنش بودند (جدول ۵) و گزینش بر اساس این چهار شاخص توانایی

جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A را دارد و از کارایی بالایی برخوردار است (۷ و ۲۳). در بین میانگین‌ها، میانگین حسابی (MP) بیشتر از دو میانگین دیگر (GMP و HARM) تحت تأثیر داده‌های بزرگ قرار می‌گیرد و در شرایطی که اختلاف بین پتانسیل عملکرد (YP) و عملکرد در شرایط تنش (YS) به‌طور قابل توجهی بزرگ باشد، میانگین حسابی تا حد زیادی دارای اریب خواهد بود (۲۴). از طرفی به‌دلیل اینکه همبستگی بین GMP و HARM با STI بسیار بالاست ($r \geq$ ۰/۹۹) بنابراین شاخص STI به‌عنوان بهترین شاخص توانایی گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به سرما در کلزا را داراست و از کارامدی خوبی برخوردار است. این نتایج با برخی از نتایج مطالعات گذشته مطابقت خوبی داشت (۱۰، ۱۵ و ۲۵).

نتیجه‌گیری

به‌منظور به حداقل رساندن خسارت ناشی از سرمازدگی کلزا، ضمن شناسایی مناطق دارای خطر سرمازدگی زیاد بر اساس مشاهده‌های درازمدت اقلیمی و اعمال مدیریت زراعی خاص، باید از ارقام سازگار و متحمل به سرما در این مناطق استفاده کرد. در این پژوهش به‌کارگیری شاخص‌های مقاومت به تنش و تجزیه‌های آماری چند متغیره (تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر) ژنوتیپ‌های متحمل به سرما با عملکرد بالا در هردو شرایط تنش و بدون تنش (گروه A) را شناسایی کرد. معنی‌دار بودن همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد شاخص STI نسبت به بقیه شاخص‌ها از قابلیت بهتری برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا برخوردار است. نتایج این پژوهش نشان داد لاین‌های والدینی L۴ (Geronimo)، L۸ (KS-۱۱) و تستر T۱۰ (SAN-۱۲) متحمل به سرما بوده و قابل استفاده در برنامه‌های اصلاحی با هدف ایجاد تحمل به سرما در کلزا هستند. علاوه بر این، برای تولید ارقام پرمحصول و متحمل به تنش سرما در کشور، می‌توان از هیبریدهای پرمحصول و متحمل به تنش سرمای شناسایی شده در این پژوهش به‌عنوان جمعیت پایه ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

1. Andersson, G. and G. Olsson. 1961. Winter raps-spezielle Auslese und Züchtungsmethoden-Winterfestigkeit und Überwinterungsfragen. Paul Barey, Berlin.
2. Begna, S. H. and S. V. Angadi. 2016. Effects of planting date on winter canola growth and yield in the southwestern US. *American Journal of Plant* Sciences 7(01): 201- 217.
3. Brule-Babel, A. and D. Fowler. 1989. Genetic control of cold hardiness and vernalization requirement in rye. *Genome* 32(1): 19-23.
4. Brule-Babel, A. and D. Fowler. 1988. Genetic control of cold hardiness and vernalization requirement in winter wheat. *Crop Science* 28(6): 879-884.
5. Chen, C., G. Jackson, K. Neill, D. Wichman, G. Johnson and D. Johnson. 2005. Determining the feasibility of early seeding canola in the northern Great Plains. *Agronomy Journal* 97(4): 1252-1262.
6. Choi, D. W., E. M. Rodriguez and T. J. Close. 2002. Barley Cbf3 gene identification, expression pattern, and map location. *Plant Physiology* 129(4): 1781-1787.
7. Dehghani, G. and B. Alizadeh. 2009. A study of drought tolerance indices in canola (*Brassica napus* L.) genotypes. *Journal of Water and Soil Science* 13(48): 77-90.
8. Doll, H., V. Haahr and B. Søgaard. 1989. Relationship between vernalization requirement and winter hardiness in doubled haploids of barley. *Euphytica* 42(3): 209-213.
9. Eivazi, A. and E.M. Heravan. 2012. Effect of sowing date on cold tolerance and some agronomic traits in bread wheat genotypes at west Azerbaijan conditions. *World Applied Sciences Journal* 16(2): 232-239.
10. Eivazi, A., S. Mohammadi, M. Rezaei, S. Ashori and F. Pour. 2013. Effective selection criteria for assessing drought tolerance indices in barley (*Hordeum vulgare* L.) accessions. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4(4): 813-821.
11. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In:* Proceedings of the

International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Tainan, Taiwan. pp. 257-270.
12. Fischer, R. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29(5): 897-912.
13. Fujita, M., N. Kawada and M. Tahir. 1992. Relationship between cold resistance, heading traits and ear primordia development of wheat cultivars. *Euphytica* 64(1-2): 123-130.
14. Gaudet, D., A. Laroche and B. Puchalski. 2001. Seeding date alters carbohydrate accumulation in winter wheat. *Crop Science* 41(3): 728-738.
15. Gholinezhad, E., R. Darvishzadeh and I. Bernousi. 2014. Evaluation of drought tolerance indices for selection of confectionery sunflower. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 42(1): 187-201.
16. Gül, M. K., C. Ö. Egesel, F. Kahriman and Ş. Tayyar. 2007. Investigation of some seed quality components in winter rapeseed grown in Çanakkale Province. *Akdeniz University Agriculture Faculty Journal* 20: 87-92.
17. Gunasekera, C., L. Martin, K. Siddique and G. Walton. 2006. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments: 1. Crop growth and seed yield. *European Journal of Agronomy* 25(1): 1-12.
18. Guy, C., F. Kaplan, J. Kopka, J. Selbig and D. K. Hincha. 2008. Metabolomics of temperature stress. *Physiologia Plantarum* 132(2): 220-235.
19. Hammer, Ø., D. Harper and P. Ryan. 2001. Paleontological statistics software: package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 4-9.
20. Hua, S., B. Lin, N. Huöain, Y. Zhang, H. Yu, Y. Ren, H. Ding and D. Zhang. 2014. Delayed planting affects seed yield, biomass production, and carbohydrate allocation in canola (*Brassica napus* L.). *International Journal of Agriculture & Biology* 16(4): 671-680.
21. Jafari, A., F. Paknejad and A. M. Jami. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production* 3(4): 33-38.
22. Jeena, A. and F. Sheikh. 2003. Genetic divergence analysis in gobhi sarson. Journal of Oilseeds Research 20: 210-212.
23. Khan, F. and F. Mohammad. 2016. Application of stress selection indices for assessment of nitrogen tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences* 26(1): 201-210.
24. Khayatnezhad, M., M. Zaefizadeh and A. Eimani. 2011. Selection of useful index for drought stress tolerance in durum wheat genotypes. *Middle-East Journal of Scientific Research* 9: 189-194.
25. Khodarahmpour, Z., R. Choukan, M. Bihamta and E. Majidi Hervan. 2010. Determination of the best heat stress tolerance indices in maize (*Zea mays* L.) inbred lines and hybrids under Khuzestan province conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 111-121.
26. Levesque, R. 2005. SPSS Programming and Data Management: A Guide for SPSS and SAS Users. Spss, USA.
27. López-Bellido, F. J., R. J. López-Bellido, S. K. Khalil and L. López-Bellido. 2008. Effect of planting date on winter kabuli chickpea growth and yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 100(4): 957-964.
28. Menezes, C., C. Ticona-Benavente, F. Tardin, M. Cardoso, E. Bastos, D. Nogueira, A. Portugal, C. Santos and R. Schaffert. 2014. Selection indices to identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. *Genetics and Molecular Research* 13(4): 9817-9827.
29. Miralles, D. J., B. C. Ferro and G. A. Slafer. 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crops Research* 71(3): 211-223.
30. Mohammadi, R. 2016. Efficiency of yield-based drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in durum wheat. *Euphytica* 211(1): 71-89.
31. Morrison, M. J. and D. W. Stewart. 2002. Heat stress during flowering in summer brassica. *Crop Science* 42(3): 797-803.
32. Mousavi, A., B. Alizadeh, M. Khodarahmi and K. Mostafavi. 2012. Investigation of cold resistance in winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars in field condition. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 8(3): 29-37.
33. Norton, G., P. Bilsborrow and P. Shipway. 1991. Comparative physiology of divergent types of winter rapeseed. *In:* Proceedings of the International Canola Conference, Canada. pp: 578-583.
34. Papathanasiou, F., C. Dordas, F. Gekas, C. Pankou, E. Ninou, I. Mylonas, K. Tsantarmas, I. Sistanis, E. Sinapidou, A. Lithourgidis, J.-K. Petrevska, I. Papadopoulos, P. Zouliamis, A. Kargiotidou and I. Tokatlidis. 2015. The use of stress tolerance indices for the selection of tolerant inbred lines and their correspondent hybrids under normal and water-stress conditions. *Procedia Environmental Sciences* 29: 274-275.
35. Patterson, H. and E. Williams. 1976. A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika* 63(1): 83-92.
36. Rad, A. H. S. and A. Abbasian. 2011. Evaluation of drought tolerance in winter rapeseed cultivars based on tolerance and sensitivity indices. *Žemdirbystė (Agriculture)* 98(1): 41-48.
37. Rapacz, M. and A. Markowski. 1999. Winter hardiness, frost resistance and vernalization requirement of European winter oilseed rape (*Brassica napus* var. oleifera) cultivars within the last 20 years. *Journal of Agronomy and Crop Science* 183(4): 243-253.

38. Rizza, F., F. Badeck, L. Cattivelli, O. Lidestri, N. Di Fonzo and A. Stanca. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science* 44(6): 2127-2137.
39. Robertson, M., S. Asseng, J. Kirkegaard, N. Wratten, J. Holland, A. Watkinson, T. Potter, W. Burton, G. Walton, and D. Moot. 2002. Environmental and genotypic control of time to flowering in canola and Indian mustard. *Australian Journal of Agricultural Research* 53(7): 793-809.
40. Rosielle, A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21(6): 943-946.
41. Sana, M., A. Ali, M. A. Malik, M. F. Saleem and M. Rafiq. 2003. Comparative yield potential and oil contents of different canola. *Pakistan Journal of Agronomy* 2(1): 1-7.
42. Singh, S., V. Kakani, D. Brand, B. Baldwin and K. Reddy. 2008. Assessment of cold and heat tolerance of winter-grown canola (*Brassica napus* L.) cultivars by pollen-based parameters. J*ournal of Agronomy and Crop Science* 194(3): 225-236.
43. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98(2): 222-229.
44. Utz, H. 2001. PLABSTAT: A Computer Program for Statistical Analysis of Plant Breeding Experiments. Institute for Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics, University of Hohenheim Stuttgart, Germany.
45. Wise, T. A. 2013. Can we feed the world in 2050. A scoping paper to assess the evidence. Global Development and Environment Institute Working Paper (13-04): 1-34.
46. Yadav, O. and S. Bhatnagar. 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. *Field Crops Research* 70(3): 201-208.
47. Yadav, S. K. 2010. Cold stress tolerance mechanisms in plants: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30(3): 515-527.
48. Yousaf, M., A. Ahmad, M. Jahangir and T. Naseeb. 2002. Effect of different sowing dates on the growth and yield of canola (Sarson) varieties. *Asian Journal of Plant Sciences* 1(6): 634-635.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 9, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Cold Tolerance in Rapeseed (*Brassica napus* L.) Using Stress Tolerance Indices

H. Amiri Oghan[1], R. Ataei[1*], M. Gholamhosseini[1] and B. Alizadeh[2]

(Received: January 15-2018; Accepted: July 7-2018)

Abstract

In order to study the response of 120 genotypes of rapeseed (including 100 hybrids and 20 parents) in terms of cold stress tolerance, an experiment was conducted in α-lattice design with two replications under normal (September) and late sowing (October) conditions during two years. Combined analysis of variance showed that genotypes were significantly different at 1% and there was a significant genetic variation among the studied genotypes. In addition, there was a significant difference between the environments (normal and late sowing) at 1% in both years and the effect of late sowing on the yield of rapeseed was different from that of normal sowing. Total mean of seed yield in non-stressed condition was 4.9 ton/ha and in cold stress condition was 2.72 t/ha (34% reduction compared to normal sowing conditions). Principal component analysis (PCA) using six indices of cold stress tolerance (MP, GMP, HARM, TOL, SSI and STI) showed that the first two components justify about 99.85% of the variation in the population. The biplot of first and second components divided the genotypes into four different groups and identified 29 high yielding and cold tolerant genotypes. Similarly, cluster analysis divided the genotypes into four different groups and grouping of genotypes using cluster analysis showed good agreement with the results of principal component analysis. Correlation between different indices of stress tolerance and yield in stress (YP) and non- stress (YS) condition showed that TOL and SSI had positive correlation with YP and negative correlation with YS. Furthermore, the four indices of MP, GMP, HARM and STI showed positive and significant correlation with yield in both stressed and non-stress conditions. The results of this study showed that the STI index has a high efficiency in selection of rapeseed genotypes for cold tolerance and can be successfully applied in breeding programs.

Keywords: Cold stress, Late sowing, Rapeseed, Stress tolerance indices

1, 2. Assistant Professors and Associate Professor, Respectively, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agriculture Research, Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran.
*: Corresponding Author, Email: reza_ataei@ut.ac.ir