دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

برآورد اثرات ژنتیکی صفات مختلف کلزا از طریق تلاقی‌های لاین × تستر در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

مهدی جمشیدمقدم[1]، عزت‌اله فرشادفر[2] و عبداله نجفی[3]

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد، دانشگاه رازی
۳- دانشیار، دانشگاه رازی، کرمانشاه، (نویسنده مسوول: nadjaphy@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۸
صفحه: ۱۷ تا ۲۸

چکیده

به‌منظور برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA)، هتروزیس و نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف کلزا از جمله عملکرد و میزان روغن دانه، شش رقم بهاره (لاین) با سه رقم پاییزه (تستر) Opera، Parade و Licord در سال ۹۴-۱۳۹۳ تلاقی داده شدند. ۱۸فقره نتاج به‌دست‌آمده به‌همراه نه والد در دو آزمایش تحت تنش و عدم‌تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود) طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ ارزیابی شدند. نتایج تجزیه لاین × تستر نشان داد که اثر لاین در تمامی صفات به‌جز صفت طول غلاف در محیط غیرتنش و اثرات متقابل لاین در تستر در همه صفات به‌جز دو صفت دانه در غلاف و میزان روغن در محیط تنش و طول غلاف محیط غیرتنش معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار GCA لاین‌ها و SCA تلاقی‌ها بود. کنترل ژنتیکی صفات برای دو شرایط محیطی متفاوت بود و محیط اثرات ژنی را در صفات مورد مطالعه تغییر داد. برای صفت عملکرد دانه در محیط تنش اثرات افزایشی ژنی و محیط غیرتنش اثرات غالبیت ژنی نقش مهم‌تری داشت. میزان روغن دانه در دو محیط از توارث‌پذیری خصوصی نسبتاً پایینی برخوردار بود. بیشترین هتروزیس عملکرد محیط تنش به تلاقی Opera × Comet و محیط غیرتنش به تلاقی Amica × Licord تعلق داشت (۱۶۸ و ۱۷۱ درصد). بالاترین هتروزیس میزان روغن در دو محیط متعلق به تلاقی Opera × Shiralee بود (۱۲/۶ و ۶/۴ درصد). رقم Opera برای بهبود عملکرد تنش و Licord برای شرایط مطلوب آزمون‌گرهای مناسب شناخته شد. با توجه به دو محیط لاین Comet و دلگان بالاترین GCA و تلاقی Licord × دلگان بالاترین SCA (تاپ کراس) برای عملکرد دانه را داشت.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌پذیری، عمل ژن، وراثت‌پذیری، هتروزیس

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده کروسیفره[1] است. دانه کلزا حاوی بیش از ۴۰٪ روغن و کنجاله حاصل از روغن‌کشی دارای بیش از ۳۵٪ پروتئین می‌باشد و در حال حاضر در بین گیاهان روغنی بعد از سویا و نخل روغنی مکان سوم را در جهان دارا می‌باشد (۸). تولید ارقام دو صفر کلزا (کانولا) که مقدار اسید اروسیک آن در روغن کمتر از دو درصد و میزان گلوکوزینولات آن در کنجاله کمتر از ۳۰ میکرو مول در هر گرم ماده خشک کنجاله بود، موجب شد که سطح زیر کشت و تولید کلزا در دنیا به‌طور چشمگیری افزایش یابد (۲۹). ارقام کلزا با داشتن تیپ‌های پاییزه و بهاره در شرایط متنوع از نظر رطوبت و درجه حرارت کشت می‌شوند و بخش اعظم تولید در دنیا تحت شرایط دیم صورت می‌گیرد. نتایج تحقیقات گذشته نشان‌دهنده این موضوع است که هتروزیس قابل توجهی برای گونه‌های مختلف جنس براسیکا به‌ویژه برای عملکرد دانه و روغن وجود دارد (۱۵،۲۰،۲۳،۲۵،۲۷،۳۴،۳۵). از جمله خصوصیت‌های ارقام هیبرید، یکنواختی سبزشدن، رشد سریع اولیه، قدرت شاخه‌دهی بالا، یکنواختی در گل‌دهی و همزمانی رسیدگی غلاف‌ها، مقاومت در برابر بیماری‌ها، درصد روغن‌دهی بالا و افزایش عملکرد و تولید در مقایسه با ارقام دگرگرده‌افشان است. بنابراین تولید هیبرید یکی از مهم‌ترین برنامه‌های به‌نژادی کلزا می‌باشد. تعیین ترکیب‌پذیری، اجزای واریانس ژنتیکی و نیز نحوه عمل ژن‌های دخیل در تظاهر صفات کمی از مهم‌ترین مراحل هر برنامه به‌نژادی برای دورگ‌گیری است و به به‌نژادگران کمک می‌کند که در مورد برنامه‌ها و راهبردهای گزینش ژنوتیپ‌ها تصمیم‌گیری کنند (۴،۱۰). برای انتخاب دقیق‌تر لاین‌های والدینی و همچنین تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها از روش‌های مختلف ژنتیک کمی از جمله تلاقی‌های دای‌آلل و لاین × تستر استفاده می‌شود. تجزیه لاین × تستر حالت تعمیم‌یافته روش تاپ‌کراس[2] است که در آن از چند ژنوتیپ برخوردار از پایه ژنتیکی وسیع به‌عنوان آزمون‌گر[3] استفاده می‌شود. از ویژگی‌های مهم این روش به‌دست آوردن اطلاعات ژنتیکی کافی از طریق استفاده از تعداد بیشتری از ارقام و اجرای تعداد کمتری تلاقی در مقایسه با دیگر روش‌های ژنتیک کمی نظیر تجزیه دای‌آلل است (۳۳). کاربرد طرح لاین × تستر برای تخمین اثرات ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) و پارامترهای ژنتیکی در منابع متعددی در ذرت (۳،۷،۲۲،۳۸)، آفتابگردان (۱،۱۲،۳۱)، پنبه (۱۸)، کتان روغنی (۱۹)، برنج (۱۴)، ارزن (۱۶) و گونه‌های براسیکا شامل خردل (۱۱،۲۰) و کلزا (۹،۱۳،۳۲) گزارش شده است. غلامی و همکاران (۱۳) در آزمایشی به‌منظور یافتن والدین مناسب جهت توسعه هیبریدهای کلزا با بهره‌مندی از قدرت ترکیب‌پذیری، از تجزیه ۵ لاین و ۳ تستر استفاده نمودند. برای اکثر صفات زراعی تفاوت ارقام از نظر GCA و تلاقی‌ها از نظر SCA معنی‌دار بود. صفات رسیدگی، وزن دانه و محتوی روغن اثر افزایشی ژن‌ها بیشتر بود، بنابراین روش‌های اصلاحی در جهت گزینش این صفات مفید بود. درجه غالبیت بیش از یک و قابلیت توارث عمومی پایین برای صفات تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها بود، بنابراین تولید هیبرید در جهت بهره‌مندی بیشتر از اثر

1- Cruciferae 2- Top cross 3- Tester

غیرافزایشی ژن‌های کنترل‌کننده این صفات قابل توجیه شد. گامی و چوهان (۱۱) با مطالعه ژنوتیپ‌های خردل (*B. juncea*) در یک آزمایش لاین × تستر گزارش کردند که اثر متقابل لاین × تستر برای ویژگی‌های مطالعه شده معنی‌دار بوده که نشان‌دهنده واکنش متفاوت لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف بود. سهم واریانس افزایشی به غیر افزایشی برای عملکرد و سایر صفات مرتبط با عملکرد کمتر از واحد بود و احتمال گزینش لاین‌هایی که دارای ژن‌های با تأثیرات افزایشی مطلوب باشند، اندک بود. پژوهشگران (۲،۲۶،۲۷) گزارش نمودند که ژرم‌پلاسم‌های عادت رشدی زمستانه کلزا از نظر ژنتیکی خیلی متفاوت از عادت رشدی بهاره هستند و به‌عنوان یک منبع ارزشمند برای اصلاح هیبریدهای بهاره می‌باشند هر چند به دلیل غیرهمزمان بودن زمان گلدهی کاربرد مستقیم از این ارقام به‌عنوان والد تلاقی مشکل است و انتقال از مواد ژنتیکی پاییزه به بهاره از طریق فرآیند اینتروگرسیون مناسب است. لذا این تحقیق با هدف تعیین اثرات ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی، هتروزیس، برآورد وراثت‌پذیری و نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف ارقام خالص کلزا در شرایط معمول و محدود رطوبتی با استفاده از تلاقی ۶ لاین بهاره با ۳ آزمون‌گر پاییزه انجام گرفت، که در نهایت دستیابی به چنین اطلاعاتی می‌تواند زمینه‌ای برای انتخاب روش اصلاحی مناسب در هر دو شرایط باشد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی ۹ ژنوتیپ خالص کلزا گزینش‌شده برای شرایط تنش خشکی شامل ۳ رقم عادت رشد پاییزه Opera، Parade، Licord به‌عنوان تستر و ۶ لاین عادت رشد بهاره دلگان، Amica، Comet، Shiralee، Kabel و RGS003 به‌عنوان والدین تلاقی‌ها انتخاب شدند. در سال ۹۴-۱۳۹۳ هر یک از لاین‌ها با تسترها تلاقی داده شد و در سال بعد، هجده نتاج به‌دست‌آمده به‌همراه نه والد در دو آزمایش تحت تنش رطوبتی و آبیاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در مزرعه آزمایشی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (سرارود) با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا با اقلیم معتدل سرد اجرا شد. کشت در ۳ ردیف به طول ۲ متر و فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر برای ژنوتیپ‌ها در هر کرت انجام گرفت. در آزمایش تحت تنش تنها آبیاری در مراحل اولیه رشد گیاهچه برای استقرار گیاهچه در پاییز انجام شد و در آزمایش تحت آبیاری علاوه بر آبیاری اولیه،۳ بار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و در طول دوره غلاف‌دهی انجام شد. در طی فصل زراعی ۹۵-۱۳۹۴ میزان بارندگی ۷۴۰/۳ میلی‌متر بود. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. برای مبارزه با شته مومی از سم متاسیستوکس استفاده شد. دراین تحقیق عموماً برای یادداشت‌برداری هر صفت تعداد ده نمونه در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها به‌عنوان شاخص هر کرت در آن تکرار محاسبه و ثبت گردید. در طول دوره رشد گیاه صفات زراعی: تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی در هر بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، میزان روغن با استفاده از دستگاه تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR)[1]، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. برای شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده بر اساس وزن خشک ساقه به‌علاوه عملکرد دانه محاسبه شد. تجزیه واریانس بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد و در صورت معنی‌دار بودن واریانس بین ژنوتیپ‌ها، برآورد ترکیب‌پذیری والدین و تأثیرات ژنی آن‌ها، با تجزیه لاین × تستر بر اساس روش پیشنهادی کمپتورن (۱۷) صورت گرفت. تجزیه واریانس بر اساس مدل ۱ انجام و ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تسترها تعیین شد:

رابطه (۱)
$$Y_{ij} = \mu + g_{ii} + g_{jj} + s_{ij} + r_k + e_{ijk}$$

در این رابطه، Y_{ij}: میانگین فنوتیپی اندازه‌گیری شده برای ij^{th} ژنوتیپ در k^{th} تکرار، μ: میانگین جمعیت، g_{ii}: ترکیب‌پذیری عمومی i^{th} والد پدری، g_{jj}: ترکیب‌پذیری عمومی j^{th} والد مادری، s_{ij}: ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی بین i^{th} والد پدری j^{th} والد مادری، r_k: اثر k^{th} تکرار، e_{ijk}: اثرات تصادفی خطای مرتبط با ij^{th} ژنوتیپ در k^{th} تکرار می‌باشند.

تأثیرات ترکیب‌پذیری عمومی برای والدین (g_{ii} و g_{jj}) و ترکیب‌پذیری خصوصی برای هر تلاقی (s_{ij}) برآورد شد (روابط ۲،۳،۴). بعد از محاسبه مقادیر واریانس ترکیب‌پذیری عمومی (σ^2_g) و خصوصی (σ^2_s)، مقادیر واریانس افزایشی (σ^2_A) و غالبیت (σ^2_D) با فرض F=۱ (اینبرد لاین بودن والدین) و عدم وجود اپیستازی، به‌ترتیب با استفاده از روابط ۵ و ۶ محاسبه شد و بر اساس این مقادیر، وراثت‌پذیری خصوصی و هتروزیس به ترتیب با استفاده از روابط ۷ و ۸ محاسبه شد. در این روابط، l: تعداد لاین، t: تعداد تستر، r: تعداد تکرار، $MS_{l \times t}$: میانگین مربعات لاین × تستر، MS_e: میانگین مربعات خطای آزمایشی، F: ضریب خویشاوندی و MP: میانگین والدین (لاین‌ها و تسترها) هر تلاقی است (۲۱).

رابطه (۲)
$$g_{ii} = \frac{X_{i..}}{tr} - \frac{X...}{ltr}$$

رابطه (۳)
$$g_{jj} = \frac{X_{.j.}}{lr} - \frac{X...}{ltr}$$

رابطه (۴)
$$s_{ij} = \frac{X_{ij.}}{r} - \frac{X_{i..}}{tr} - \frac{X_{.j.}}{lr} + \frac{X_{...}}{ltr}$$

رابطه (۵)
$$CovHS = \frac{1}{r(2lt - l - t)}\left[\frac{(l-1)MS_l + (t-1)MS_t}{l+t-2} \quad M_{l\times t}\right]$$

رابطه (۶)
$$\pm^2_{sca} = \frac{MS_{l\times t} - MS_e}{r} = \left(\frac{1+F}{2}\right)^2 \pm^2_D$$

1- Nuclear magnetic resonance

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

برآورد اثرات ژنتیکی صفات مختلف کلزا از طریق تلاقی‌های لاین × تستر در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

مهدی جمشیدمقدم[1]، عزت‌اله فرشادفر[2] و عبداله نجفی[3]

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد، دانشگاه رازی
۳- دانشیار، دانشگاه رازی، کرمانشاه، (نویسنده مسوول: nadjaphy@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۸
صفحه: ۱۷ تا ۲۸

چکیده

به‌منظور برآورد اثرات ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA)، هتروزیس و نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف کلزا از جمله عملکرد و میزان روغن دانه، شش رقم بهاره (لاین) با سه رقم پاییزه (تستر) Opera، Parade و Licord در سال ۹۴-۱۳۹۳ تلاقی داده شدند. ۱۸فقره نتاج به‌دست‌آمده به‌همراه نه والد در دو آزمایش تحت تنش و عدم‌تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود) طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ ارزیابی شدند. نتایج تجزیه لاین × تستر نشان داد که اثر لاین در تمامی صفات به‌جز صفت طول غلاف در محیط غیرتنش و اثرات متقابل لاین در تستر در همه صفات به‌جز دو صفت دانه در غلاف و میزان روغن در محیط تنش و طول غلاف محیط غیرتنش معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار GCA لاین‌ها و SCA تلاقی‌ها بود. کنترل ژنتیکی صفات برای دو شرایط محیطی متفاوت بود و محیط اثرات ژنی را در صفات مورد مطالعه تغییر داد. برای صفت عملکرد دانه در محیط تنش اثرات افزایشی ژنی و محیط غیرتنش اثرات غالبیت ژنی نقش مهم‌تری داشت. میزان روغن دانه در دو محیط از توارث‌پذیری خصوصی نسبتاً پایینی برخوردار بود. بیشترین هتروزیس عملکرد محیط تنش به تلاقی Opera × Comet و محیط غیرتنش به تلاقی Amica × Licord تعلق داشت (۱۶۸ و ۱۷۱ درصد). بالاترین هتروزیس میزان روغن در دو محیط متعلق به تلاقی Opera × Shiralee بود (۱۲/۶ و ۶/۴ درصد). رقم Opera برای بهبود عملکرد تنش و Licord برای شرایط مطلوب آزمون‌گرهای مناسب شناخته شد. با توجه به دو محیط لاین Comet و دلگان بالاترین GCA و تلاقی Licord × دلگان بالاترین SCA (تاپ کراس) برای عملکرد دانه را داشت.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌پذیری، عمل ژن، وراثت‌پذیری، هتروزیس

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده کروسیفره[1] است. دانه کلزا حاوی بیش از ۴۰٪ روغن و کنجاله حاصل از روغن‌کشی دارای بیش از ۳۵٪ پروتئین می‌باشد و در حال حاضر در بین گیاهان روغنی بعد از سویا و نخل روغنی مکان سوم را در جهان دارا می‌باشد (۸). تولید ارقام دو صفر کلزا (کانولا) که مقدار اسید اروسیک آن در روغن کمتر از دو درصد و میزان گلوکوزینولات آن در کنجاله کمتر از ۳۰ میکرو مول در هر گرم ماده خشک کنجاله بود، موجب شد که سطح زیر کشت و تولید کلزا در دنیا به‌طور چشمگیری افزایش یابد (۲۹). ارقام کلزا با داشتن تیپ‌های پاییزه و بهاره در شرایط متنوع از نظر رطوبت و درجه حرارت کشت می‌شوند و بخش اعظم تولید در دنیا تحت شرایط دیم صورت می‌گیرد. نتایج تحقیقات گذشته نشان‌دهنده این موضوع است که هتروزیس قابل توجهی برای گونه‌های مختلف جنس براسیکا به‌ویژه برای عملکرد دانه و روغن وجود دارد (۱۵،۲۰،۲۳،۲۵،۲۷،۳۴،۳۵). از جمله خصوصیت‌های ارقام هیبرید، یکنواختی سبزشدن، رشد سریع اولیه، قدرت شاخه‌دهی بالا، یکنواختی در گل‌دهی و همزمانی رسیدگی غلاف‌ها، مقاومت در برابر بیماری‌ها، درصد روغن‌دهی بالا و افزایش عملکرد و تولید در مقایسه با ارقام دگرگرده‌افشان است. بنابراین تولید هیبرید یکی از مهم‌ترین برنامه‌های به‌نژادی کلزا می‌باشد. تعیین ترکیب‌پذیری، اجزای واریانس ژنتیکی و نیز نحوه عمل ژن‌های دخیل در تظاهر صفات کمی از مهم‌ترین مراحل هر برنامه به‌نژادی برای دورگ‌گیری است و به به‌نژادگران کمک می‌کند که در مورد برنامه‌ها و راهبردهای گزینش ژنوتیپ‌ها تصمیم‌گیری کنند (۴،۱۰). برای انتخاب دقیق‌تر لاین‌های والدینی و همچنین تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها از روش‌های مختلف ژنتیک کمی از جمله تلاقی‌های دای‌آلل و لاین × تستر استفاده می‌شود. تجزیه لاین × تستر حالت تعمیم‌یافته روش تاپ‌کراس[2] است که در آن از چند ژنوتیپ برخوردار از پایه ژنتیکی وسیع به‌عنوان آزمون‌گر[3] استفاده می‌شود. از ویژگی‌های مهم این روش به‌دست آوردن اطلاعات ژنتیکی کافی از طریق استفاده از تعداد بیشتری از ارقام و اجرای تعداد کمتری تلاقی در مقایسه با دیگر روش‌های ژنتیک کمی نظیر تجزیه دای‌آلل است (۳۳). کاربرد طرح لاین × تستر برای تخمین اثرات ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) و پارامترهای ژنتیکی در منابع متعددی در ذرت (۳،۷،۲۲،۳۸)، آفتابگردان (۱،۱۲،۳۱)، پنبه (۱۸)، کتان روغنی (۱۹)، برنج (۱۴)، ارزن (۱۶) و گونه‌های براسیکا شامل خردل (۱۱،۲۰) و کلزا (۹،۱۳،۳۲) گزارش شده است. غلامی و همکاران (۱۳) در آزمایشی به‌منظور یافتن والدین مناسب جهت توسعه هیبریدهای کلزا با بهره‌مندی از قدرت ترکیب‌پذیری، از تجزیه ۵ لاین و ۳ تستر استفاده نمودند. برای اکثر صفات زراعی تفاوت ارقام از نظر GCA و تلاقی‌ها از نظر SCA معنی‌دار بود. صفات رسیدگی، وزن دانه و محتوی روغن اثر افزایشی ژن‌ها بیشتر بود، بنابراین روش‌های اصلاحی در جهت گزینش این صفات مفید بود. درجه غالبیت بیش از یک و قابلیت توارث عمومی پایین برای صفات تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها بود، بنابراین تولید هیبرید در جهت بهره‌مندی بیشتر از اثر

1- Cruciferae 2- Top cross 3- Tester

رابطه (۷)
$$\pm^{2}_{gca} = CovHS = \left(\frac{1+F}{4}\right)\pm^{2}_{A}$$

رابطه (۸)
$$H_n = \frac{\pm^{2}_{A}}{\pm^{2}_{A} + \pm^{2}_{D} + \pm^{2}_{e}/r}$$

رابطه (۹)
$$H_{et} = \frac{(F_1 - MP)}{MP} \times 100$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مجزا داده‌های دو محیط تحت تنش رطوبتی و آبیاری برای صفات مختلف (جدول ۱) نشان داد که اثر تیمار به‌جز صفت دانه در غلاف برای شرایط آبیاری برای کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود این مسأله نشان‌دهنده وجود تفاوت ژنتیکی قابل‌ملاحظه در بین ژنوتیپ‌ها برای صفات مورد ارزیابی می‌باشد. بنابراین به‌جز صفت دانه در غلاف در شرایط غیرتنش برای بقیه صفات ارزیابی ترکیب‌پذیری انجام گرفت. میانگین مربعات والدین در مقابل تلاقی برای کلیه صفات به‌جز صفات دانه در غلاف هر دو شرایط، طول غلاف شرایط تنش و رسیدگی شرایط غیرتنش معنی‌دار شد که گویای وجود هتروزیس (اعم از مثبت یا منفی) در این صفات می‌باشد. اوفوری و بیکر (۲۳) در ارقام شلغم روغنی جزء اثر والدین در مقابل تلاقی را برای صفت گلدهی غیرمعنی‌دار و عملکرد بیوماس معنی‌دار بدست آوردند. همچنین معنی‌دار بودن اثر والدین در مقابل تلاقی برای صفت میزان روغن در کلزا، با نتایج تحقیق دیگری (۳۲) مطابقت داشت. با توجه به جدول ۱، اثر والدین به‌جز صفات غلاف در بوته و دانه در غلاف شرایط غیرتنش برای بقیه صفات معنی‌دار شد. معنی‌دار شدن اثر والدین به‌معنای آن است که در صورت انتخاب درست والدین با تنوع کافی می‌توان مقدار صفت در هیبرید را به سمت دلخواه سوق داد. معنی‌دار بودن اثر والدین کلزا برای صفات عملکرد دانه و میزان روغن با نتایج غلامی و همکاران (۱۳) همخوانی داشت. اثر تلاقی‌ها برای کلیه صفات به‌جز طول غلاف و دانه در غلاف محیط غیرتنش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی کافی بین تلاقی‌ها به‌دست‌آمده از نظر صفات فوق می‌باشد. این امر موجب آزادی عمل بیشتر به‌نژادگر در انتخاب هیبرید برتر می‌شود. با تجزیه اثر تلاقی‌ها به اجزای خود شامل اثرات لاین، تستر و لاین × تستر (جدول ۱) معلوم شد که اثر لاین‌ها برای تمامی صفات به‌جز طول غلاف در محیط غیرتنش معنی‌دار شد که بیانگر تفاوت معنی‌دار بین ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و نقش مؤثر اثرات افزایشی در کنترل این صفات می‌باشد. میانگین مربعات تسترها برای اکثر صفات معنی‌دار و برای صفات دانه در غلاف در شرایط غیرتنش و میزان روغن در هر دو شرایط معنی‌دار نشده است. معنی‌داری صفات مذکور، این موضوع را بیان می‌دارد که تفاوت معنی‌داری در ترکیب‌پذیری عمومی تسترها برای این صفات وجود دارد. اثرات متقابل لاین در تستر جز در صفات طول غلاف در شرایط عدم تنش، دانه در غلاف در هر دو شرایط و میزان روغن در شرایط تنش برای بقیه صفات معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ترکیب‌پذیری خصوصی والدین برای این صفات می‌باشد. در بررسی غلامی و همکاران (۱۳) نیز برای صفات ارتفاع بوته و عملکرد دانه در ارقام کلزا اثر متقابل لاین در تستر معنی‌دار گزارش شد. رامئه (۳۰) با بررسی تلاقی‌های دای‌آلل ژنوتیپ‌های کلزای بهاره، قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی را برای تمامی صفات زراعی مورد مطالعه معنی‌دار گزارش نمود که نشان‌دهنده اهمیت اثرات افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات می‌باشد.

گلدهی و رسیدگی

بر اساس آزمون ترکیب‌پذیری برای صفات مختلف، مقادیر بیشترGCA بیانگر سهم بیشتر آثار افزایشی ژن‌ها و تأثیر بیشتر SCA حاکی از سهم بیشتر تأثیر غالبیت ژن‌های کنترل‌کننده این صفات در گیاهان است. غیرمعنی‌دار بودن هر دو مقدار GCA و SCA، بیانگر نقش بارز تأثیرات اپیستاتیک ژن‌ها در کنترل این خصوصیات است (۱۰). نتایج ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی (جدول ۲) نشان داد که لاین‌های دلگان و RGS003 در هر دو شرایط و Comet برای تنش کمترین GCA منفی و معنی‌دار را برای صفت گلدهی دارا بودند. برای رسیدگی نیز Comet و RGS003 برای تنش و دلگان برای غیرتنش کمترین ترکیب‌پذیری را داشتند. هر دو صفت گلدهی و رسیدگی تستر Parade کمترین GCA منفی و معنی‌دار را داشت. با توجه به نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی (جدول ۳) بهترین تلاقی در هر دو محیط برای صفت گلدهی مربوط به Amica × Opera بود. علاوه بر این تلاقی، ۸ تلاقی منفی و معنی‌دار برای زودگلدهی در محیط تنش مشاهده شد که تلاقی‌های Comet × Opera، Comet × Parade × RGS003 کمترین مقادیر SCA داشتند. صفت رسیدگی برای محیط تنش در جهت زودرسی ۶ تلاقی مناسب مانند Amica × Parade و Comet × Opera گزینش شد. هیچکدام از تلاقی‌ها در محیط غیرتنش معنی‌دار نشد. وانگ و همکاران (۳۶) در بررسی ارقام شلغم روغنی (*Brassica rapa*)، نقش معنی‌داری برای هر دو ترکیب‌پذیریGCA و SCA برای صفات مختلف زراعی این گونه گزارش کردند که مبین وجود واریانس‌های ژنتیکی افزایشی و غیرافزایشی برای صفات مذکور بود. اوفوری و بیکر (۲۳) نیز برای این گونه نقش هر دو ترکیب‌پذیری GCA و SCA را در گلدهی و SCA در عملکرد بیوماس معنی‌دار گزارش نمودند. تلاقی آزمون‌گرهای تیپ پاییزه با اکثر لاین‌های بهاره برای صفت گلدهی در هر دو شرایط و رسیدگی در شرایط تنش باعث هتروزیس معنی‌دار شد (جدول ۴). با در نظر گرفتن دو شرایط تنش و غیرتنش برخی تلاقی‌های ارقام Parade و Licord با لاین‌های زودرس دلگان، Kabel و RGS003 یا رقم Opera با لاین Comet جهت اصلاح برای زودرسی می‌توانند گزینه‌های مناسبی باشند. انکویست و بیکر (۶) نیز هتروزیس منفی را برای دو صفت تعداد روز تا گلدهی و رسیدن در کلزا را گزارش نمودند.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف ژنوتیپ‌های کلزا بر اساس تجزیه لاین × تستر در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴

Table 1. Line × tester Analysis for different traits in rapeseed genotypes under drought stress and non stress conditions in 2015-2016 cropping season

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات صفات مورد بررسی									
		گلدهی		رسیدگی		ارتفاع بوته		غلاف در بوته		طول غلاف	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
تیمار	۲۶	۲۰۵/۸۱**	۲۰۹/۱۰**	۶۶/۲۵**	۴۰/۴۷**	۲۲۰۵/۷۱**	۶۲۸/۲۳**	۲۰۸۵/۳۶**	۱۱۳۰/۱۱**	۰/۶۷۹**	۰/۳۶*
والدین	۸	۴۴۳/۷۵**	۵۵۳/۱۴**	۱۵۱/۸۹**	۹۷/۸۳**	۲۷۰۹/۹۱**	۸۶۰/۳۰**	۱۳۱۷/۱۴**	۵۹۸/۵۲^{ns}	۰/۹۸**	۰/۴۱*
تلاقی‌ها	۱۷	۸۶/۴۹**	۳۸/۰۲**	۲۹/۲۹**	۱۵/۴۷**	۱۹۸۱/۰۰**	۳۵۰/۰۹**	۲۱۷۶/۰۲**	۱۲۸۲/۰۴**	۰/۵۷۵**	۰/۳۲^{ns}
لاین	۵	۵۷/۵۱**	۵۱/۱۴**	۳۸/۲۷**	۲۹/۶۹**	۵۹۶۴/۹۳**	۳۹۲/۸۴**	۵۲۷۷/۴۶**	۹۷۰/۷۰**	۱/۲۵**	۰/۲۲^{ns}
تستر	۲	۳۵۵/۰۸**	۱۵۲/۴۱**	۱۱۳/۲۵**	۳۸/۶۶**	۲۹۸/۶۹**	۹۷۲/۳۵**	۱۳۹۳/۳۶**	۴۳۷۱/۲۷**	۰/۷۹**	۰/۹۷**
لاین × تستر	۱۰	۴۷/۲۵**	۸/۵۸**	۸/۰۲**	۳/۷۲*	۳۲۵/۵۰**	۲۰۴/۲۶**	۷۸۱/۸۳**	۸۱۹/۸۶**	۰/۱۹**	۰/۲۴^{ns}
والدین در مقابل تلاقی	۱	۳۳۰/۷۳**	۳۶۵/۱۳**	۹/۴۵**	۳/۹۹^{ns}	۱۹۹۲/۱۸**	۳۵۰۰/۰۵**	۶۶۸۹/۹۰**	۲۸۰۰/۰۲**	۰/۰۵^{ns}	۰/۶۴*
خطا	۲۶	۰/۲۸	۱/۹۵	۰/۰۵	۱/۶۵	۴۸/۸۰	۳۳/۹۴	۱۱۴/۶۴	۱۳۲/۲۶	۰/۰۵	۰/۱۴
ضریب تغییرات (٪)		۰/۳۴	۰/۷۹	۰/۱	۰/۵۱	۴/۷۷	۳/۲۰	۱۰/۵۵	۸/۸۱	۴/۵۴	۷/۲۶

ادامه جدول ۱

Table 1. Continued

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات صفات مورد بررسی									
		دانه در غلاف		وزن هزار دانه		میزان روغن دانه		عملکرد دانه		شاخص برداشت	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
تیمار	۲۶	۲۰/۸۹**	۱۱/۶۲^{ns}	۱/۴۱**	۰/۵۴**	۱۶/۴۷**	۳/۷۱**	۱۲۳۹۵۸۵/۸۴**	۱۵۱۷۹۶۷/۱۰**	۸۶/۰۲**	۵۶/۸۲**
والدین	۸	۳۳/۸۵**	۵/۱۲^{ns}	۱/۷۵**	۰/۵۴**	۲۷/۷۹**	۵/۰۶*	۸۴۷۵۰۵/۷۹**	۱۳۶۳۷۶۳/۲۲**	۱۴۱/۳۶**	۱۳۳/۱۱**
تلاقی‌ها	۱۷	۱۶/۰۱**	۱۴/۹۲^{ns}	۱/۰۶**	۰/۳۴**	۱۰/۱۶**	۲/۱۵**	۱۱۶۳۰۵۰/۸۵**	۹۰۹۴۸۰/۰۱**	۳۲/۶۱**	۲۲/۲۷**
لاین	۵	۳۲/۷۴**	۲۲/۹۵**	۲/۹۴**	۰/۶۹**	۲۳/۹۲**	۳/۹۵**	۳۲۳۲۰۷۸/۷۷**	۱۵۹۰۲۰۱/۱۸**	۸۲/۳۹**	۲۹/۹۵**
تستر	۲	۱۴/۸۸*	۲۰/۸۸^{ns}	۰/۸۵**	۰/۰۷**	۴/۳۵^{ns}	۱/۷۶^{ns}	۷۹۶۸۵۵/۵۴**	۶۶۷۲۹۹/۴۳**	۱۰/۴۷*	۴۴/۶۲**
لاین × تستر	۱۰	۷/۸۷^{ns}	۹/۷۲^{ns}	۰/۱۵*	۰/۲۲**	۴/۴۴^{ns}	۱/۳۲*	۲۰۱۷۷۵/۹۶**	۶۱۷۵۵۵/۵۳**	۱۲/۱۵**	۱۳/۹۷**
والدین در مقابل تلاقی	۱	۰/۱۷^{ns}	۷/۵۲^{ns}	۴/۶۴**	۳/۹۴**	۳۳/۱۸**	۱۹/۴۳**	۵۶۷۷۳۲۱/۰۷**	۱۳۰۹۵۸۷۸/۵۱**	۵۵۱/۲۷**	۳۳/۸۵**
خطا	۲۶	۳/۷۴	۶/۷۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۲/۲۷	۰/۵۴	۴۴۷۴۹/۲۰	۴۱۳۹۲/۶۳	۲/۳۲	۳/۰۶
ضریب تغییرات (٪)		۹/۸۸	۱۴/۱۰	۶/۹۳	۲/۶۷	۳/۳۱	۱/۶۷	۱۰/۸۲	۷/۴۷	۴/۹۱	۷/۸۸

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۲- قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) لاین‌ها و تسترها برای صفات زراعی ارقام کلزا در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

Table 2. The general combining ability (GCA) of lines and testers for agronomical traits of rapeseed varieties under drought stress and non stress conditions

	ژنوتیپ‌ها	گلدهی		رسیدگی		ارتفاع بوته (سانتی‌متر)		غلاف در بوته		طول غلاف (میلی‌متر)	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
لاین‌ها	دلگان	-۳/۴۲**	-۳/۷۰**	۰/۵۰**	-۴/۵۰**	۲۴/۰۵**	۳/۴۴^{ns}	۱۸/۷۸**	۶/۶۲^{ns}	۰/۳۳**	۰/۲۵^{ns}
	Amica	۰/۲۵^{ns}	۱/۵۹**	۳/۵۰**	۱/۲۷*	۳۳/۲۱**	۶/۳۰*	-۶/۶۴^{ns}	۷/۰۱^{ns}	۰/۴۶**	۰/۰۶^{ns}
	Comet	-۰/۷۵**	۰/۹۶^{ns}	-۴/۰۰**	۰/۵۳^{ns}	۲۰/۴۶**	۱۰/۳۹**	۴۳/۹۴**	۱۸/۳۶**	۰/۴۱**	-۰/۰۴^{ns}
	Shiralee	۵/۷۵**	۲/۸۲**	۱/۵۰**	۰/۹۳^{ns}	-۲/۴۷^{ns}	-۵/۹۳*	۶/۸۶^{ns}	-۱۵/۱۸**	-۰/۱۴^{ns}	-۰/۳۰^{ns}
	Kabel	-۰/۲۵^{ns}	۲/۰۱**	-۰/۶۶**	۱/۱۴*	-۳۳/۴۹**	-۳/۰۹^{ns}	-۳۶/۰۶**	-۶/۴۹^{ns}	-۰/۵۸**	-۰/۱۰^{ns}
	RGS003	-۱/۵۹**	-۳/۶۷**	-۰/۸۲**	۰/۶۴^{ns}	-۴۱/۷۵**	-۱۱/۱۰**	-۲۶/۸۹**	-۱۰/۳۲*	-۰/۴۵**	۰/۱۱^{ns}
	اشتباه معیار	۰/۲۲	۰/۵۷	۰/۰۹	۰/۵۲	۲/۸۵	۲/۳۸	۴/۳۷	۴/۶۹	۰/۰۹	۰/۱۵
تسترها	Opera	۲/۵۸**	۱/۲۲**	۲/۲۵**	۰/۱۹^{ns}	۲/۷۲^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۷/۱۹*	۸/۱۶*	۰/۲۶**	۰/۲۵**
	Parade	-۶/۲۵**	-۴/۰۱**	-۵۰۳**	-۱/۸۸**	-۵/۷۵**	-۹/۶۱**	-۱۲/۳۹**	-۲۱/۸۱**	-۰/۲۵**	-۰/۳۱**
	Licord	۳/۶۶**	۲/۸۰**	۱/۲۵**	۱/۶۹**	۳/۰۵^{ns}	۸/۲۴**	۵/۱۹^{ns}	۱۳/۶۵**	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۵^{ns}
	اشتباه معیار	۰/۱۵	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۳۷	۲/۰۲	۱/۶۸	۳/۰۹	۳/۳۲	۰/۰۷	۰/۱۱

ادامه جدول ۲

Table 2. Continued

	ژنوتیپ‌ها	دانه در غلاف		وزن هزار دانه (گرم)		میزان روغن (درصد)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		شاخص برداشت (درصد)	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
لاین‌ها	دلگان	۱/۳۶^{ns}	۰/۵۴**	۰/۴۸**	-۱/۷۶**	۰/۰۳^{ns}	۷۷۴/۵۵**	۲۶۸/۸۳**	۱/۳۳*	۱/۰۳^{ns}
	Amica	۱/۵۲^{ns}	-۱/۱۷**	-۰/۴۶**	-۱/۴۹*	-۰/۸۸**	-۷۱۶/۹۷**	۳۲/۶۳^{ns}	-۷/۴۴**	-۲/۳۶**
	Comet	۳/۱۱**	-۰/۴۶**	-۰/۲۲**	۳/۱۶**	۰/۹۳**	۱۰۶۵/۹۷**	۶۷۶/۰۳**	۰/۵۲^{ns}	۳/۰۸**
	Shiralee	-۱/۰۲^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۲۷**	۱/۷۶**	۰/۸۵**	-۳۰۲/۸۰**	-۵۲۷/۱۷**	۱/۸۳**	-۲/۶۰**
	Kabel	-۲/۷۷**	۰/۲۷*	-۰/۱۲**	-۰/۵۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	-۴۹۵/۹۶**	-۶۸۰/۹۶**	۱/۲۰^{ns}	-۰/۵۱^{ns}
	RGS003	-۲/۱۹*	۰/۷۰**	۰/۰۳^{ns}	-۱/۱۲^{ns}	-۰/۹۷**	-۳۲۴/۷۷**	۲۳۰/۶۵*	۲/۵۴**	۱/۳۳^{ns}
	اشتباه معیار	۰/۷۹	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۶۱	۰/۳۰	۸۶/۳۶	۸۳/۰۶	۰/۶۲	۰/۷۱
تسترها	Opera	-۱/۰۲^{ns}	۰/۲۳**	-۰/۰۸**	-۰/۱۲^{ns}	-۰/۴۳^{ns}	۱۸۰/۲۷**	۱۱۵/۰۰^{ns}	-۰/۶۳^{ns}	۰/۱۶^{ns}
	Parade	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۲۸**	-۰/۰۱^{ns}	۰/۶۶^{ns}	۰/۳۰^{ns}	-۲۹۵/۱۵**	-۲۷۱/۲۵**	-۰/۴۵^{ns}	۱/۸۴**
	Licord	۱/۱۹*	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۸**	-۰/۵۳^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۱۱۴/۸۹^{ns}	۱۵۶/۲۶*	۱/۰۷*	-۲/۰۱**
	اشتباه معیار	۰/۵۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۴۳	۰/۲۱	۶۱/۰۷	۵۸/۷۳	۰/۴۴	۰/۵۰

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۳- قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها (۶ لاین × ۳ تستر) برای صفات زراعی ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

Table 3. The specific combining ability (SCA) of the crosses (6 lines × 3 testers) for agronomic traits of rapeseed genotypes under drought stress and non stress conditions

تستر	لاین‌ها	گلدهی		رسیدگی		ارتفاع بوته		غلاف در بوته		طول غلاف	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
Opera	دلگان	۶/۴۲**	−۰/۲۰^{ns}	۰/۴۱**	−۱/۸۳^{ns}	۱/۲۵^{ns}	۱۳/۵۱**	۱۴/۶۴^{ns}	۱۰/۲۴^{ns}	۰/۲۵^{ns}	−۰/۰۸^{ns}
	Amica	−۵/۲۵**	−۲/۷۰*	۱/۴۱**	−۰/۵۰^{ns}	−۲/۰۹^{ns}	۴/۶۸^{ns}	۱۰/۰۶^{ns}	۱۰/۸۰^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۳۶^{ns}
	Comet	−۶/۲۵**	۰/۴۷^{ns}	−۲/۵۹**	−۰/۶۷^{ns}	−۳/۷۵^{ns}	−۴/۵۷^{ns}	−۶/۷۸^{ns}	−۷/۷۳^{ns}	۰/۱۴^{ns}	−۰/۱۶^{ns}
	Shiralee	−۱/۷۵**	−۱/۲۰^{ns}	−۱/۵۹**	۱/۳۳^{ns}	۱۱/۲۵*	−۰/۶۵^{ns}	−۱۳/۴۴^{ns}	−۱/۱۵^{ns}	−۰/۰۹^{ns}	−۰/۰۶^{ns}
	Kabel	۳/۷۵**	۲/۹۷**	۱/۵۸**	۱/۵۰^{ns}	−۳/۳۴^{ns}	−۵/۲۴^{ns}	۵/۲۲^{ns}	−۱۶/۲۹^{ns}	−۰/۲۰^{ns}	۰/۰۵^{ns}
	RGS003	۳/۰۹**	۰/۶۴^{ns}	۰/۷۵**	۰/۱۷^{ns}	−۳/۳۴^{ns}	−۷/۷۴^{ns}	−۹/۶۹^{ns}	۴/۱۳^{ns}	−۰/۴۵**	−۰/۰۸^{ns}
Parade	دلگان	−۲/۷۵**	−۱/۳۶^{ns}	۱/۱۶**	۰/۷۵^{ns}	−۲۱/۴۶**	−۱۷/۹۹**	−۳۳/۷۸**	−۴۱/۲۳**	−۰/۲۳^{ns}	−۰/۵۲^{ns}
	Amica	۳/۰۹**	۱/۶۴^{ns}	−۲/۸۴**	۰/۵۸^{ns}	−۶/۰۵^{ns}	−۶/۸۲^{ns}	−۳/۳۶^{ns}	−۱/۹۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	−۰/۱۹^{ns}
	Comet	۳/۰۹**	۰/۳۰^{ns}	۱/۶۶**	۰/۴۲^{ns}	۷/۲۹^{ns}	۵/۴۳^{ns}	−۴/۶۹^{ns}	۸/۸۰^{ns}	−۰/۲۹^{ns}	۰/۱۵^{ns}
	Shiralee	۳/۵۹**	۲/۶۴*	۲/۱۶**	−۱/۵۸^{ns}	۳/۵۴^{ns}	−۲/۱۵^{ns}	۳۲/۳۹**	۱۴/۰۵^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۰/۲۱^{ns}
	Kabel	−۲/۴۱**	−۲/۲۰*	−۱/۶۷**	−۱/۴۲^{ns}	۷/۷۰^{ns}	۱۰/۷۶*	−۰/۴۴^{ns}	۱۶/۴۱^{ns}	۰/۱۹^{ns}	−۰/۰۱^{ns}
	RGS003	−۴/۵۸**	−۱/۰۳^{ns}	−۰/۵۰**	۱/۲۵^{ns}	۸/۹۵^{ns}	۱۰/۷۶*	۹/۸۹^{ns}	۳/۹۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۳۸^{ns}
Licord	دلگان	−۳/۶۶**	۱/۵۵^{ns}	−۱/۵۹**	۱/۰۸^{ns}	۲۰/۲۰**	۴/۴۷^{ns}	۱۹/۱۴*	۳۰/۹۹**	−۰/۰۳^{ns}	۰/۶۱*
	Amica	۲/۱۷**	۱/۰۵^{ns}	۱/۴۱**	−۰/۰۸^{ns}	۸/۱۲^{ns}	۲/۱۴^{ns}	−۶/۶۹^{ns}	−۸/۸۷^{ns}	−۰/۳۵*	−۰/۱۵^{ns}
	Comet	۳/۱۷**	−۰/۷۸^{ns}	۰/۹۱**	۰/۲۵^{ns}	−۳/۵۵^{ns}	−۰/۸۶^{ns}	۱۱/۴۷^{ns}	−۱/۰۶^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۲^{ns}
	Shiralee	−۱/۸۲**	−۱/۴۵^{ns}	−۰/۵۹**	۰/۲۵^{ns}	−۱۴/۸۰**	۲/۸۰^{ns}	−۱۸/۹۴*	−۱۲/۹۰^{ns}	−۰/۱۷^{ns}	−۰/۱۴^{ns}
	Kabel	−۱/۳۲**	−۰/۷۸^{ns}	۰/۰۸^{ns}	−۰/۰۸^{ns}	−۴/۳۸^{ns}	−۵/۵۳^{ns}	−۴/۷۸^{ns}	−۰/۱۲^{ns}	۰/۰۰^{ns}	−۰/۰۳^{ns}
	RGS003	۱/۵۰**	۰/۳۹^{ns}	−۰/۲۵^{ns}	−۱/۴۲^{ns}	−۵/۶۳^{ns}	−۳/۰۳^{ns}	−۰/۱۹^{ns}	−۸/۰۴^{ns}	۰/۴۰*	−۰/۲۹^{ns}
	اشتباه معیار	۰/۳۸	۰/۹۹	۰/۱۶	۰/۹۱	۴/۹۴	۴/۱۲	۷/۵۷	۸/۱۳	۰/۱۶	

ادامه جدول ۳

Table 3. Continued

تستر	لاین‌ها	دانه در غلاف	وزن هزار دانه		میزان روغن		عملکرد دانه		شاخص برداشت	
		تنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
Opera	دلگان	۱/۴۰^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۱۰^{ns}	−۰/۲۱^{ns}	۴/۲۷^{ns}	−۲۷/۱۸^{ns}	۲/۴۲*	۰/۷۶^{ns}
	Amica	۰/۹۸^{ns}	۰/۴۰*	۰/۲۱**	۰/۵۶^{ns}	−۰/۸۰^{ns}	۱۶۵/۷۵^{ns}	−۵۲۹/۴۰**	۱/۳۳^{ns}	−۲/۸۱*
	Comet	۰/۹۰^{ns}	−۰/۰۳^{ns}			−۰/۲۲^{ns}	۲۲۹/۲۲^{ns}	۳۰۹/۸۰*	۰/۱۶^{ns}	۴/۸۵**
	Shiralee	۱/۶۵^{ns}	−۰/۲۵^{ns}			۰/۷۰^{ns}	−۱۰۶/۴۷^{ns}	−۱۵۸/۲۸^{ns}	−۱/۵۳^{ns}	−۲/۲۰^{ns}
	Kabel	−۱/۸۶^{ns}	−۰/۲۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	−۲/۲۳*	۰/۶۶^{ns}	−۳۰۰/۹۲*	۳۲۱/۷۷*	−۲/۵۱*	−۰/۷۷^{ns}
	RGS003	−۳/۰۶*	−۰/۰۹^{ns}	−۰/۲۵**	−۰/۱۱^{ns}	−۰/۱۲^{ns}	۸/۱۳^{ns}	۸۳/۲۷^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۱۸^{ns}
		−۰/۵۶^{ns}	−۱/۳۳^{ns}	۰/۲۸**	−۰/۶۳^{ns}	۰/۹۵^{ns}	−۵۴۶/۱۰**	−۷۶۵/۳۳**	−۴/۳۷**	۰/۱۰^{ns}
Licord		۲/۲۱*	−۰/۵۰^{ns}	۰/۲۴**	۱/۲۳^{ns}	−۰/۰۱^{ns}	۱۸/۸۳^{ns}	−۶۰/۴۱^{ns}	۰/۹۱	۰/۶۲^{ns}
	Comet	−۱/۲۱^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۸۲^{ns}	−۱/۷۰^{ns}	−۱۷۵/۱۳^{ns}	۰/۸۹^{ns}	−۰/۵۴^{ns}
۰/۱۱^{ns} ۰/۱۳*	Shiralee	۰/۵۴^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۳۱**	−۱/۲۳^{ns}	−۰/۸۸^{ns}	۲۰۸/۳۷^{ns}	۳۸۰/۳۶*	۲/۳۶*	۰/۴۲^{ns}
	Kabel	۲/۰۴^{ns}	−۰/۰۲^{ns}	−۰/۳۳**	۰/۴۱^{ns}	−۰/۹۳^{ns}	۱۶۷/۸۲^{ns}	۱۵۷/۷۶^{ns}	۱/۷۲^{ns}	−۰/۹۵^{ns}
	RGS003	۰/۴۶^{ns}	−۰/۰۵^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱۵۲/۷۷^{ns}	۴۶۲/۷۶**	−۱/۴۸^{ns}	۰/۳۶^{ns}
	دلگان	−۰/۰۶^{ns}	۰/۰۹^{ns}	−۰/۳۱**	۰/۵۲^{ns}	−۰/۷۳^{ns}	۵۴۱/۸۲**	۷۹۲/۵۲**	۱/۹۷^{ns}	−۰/۸۶^{ns}
	Amica	−۰/۴۸^{ns}	−۰/۵۴**	−۰/۴۳**	−۱/۸۰^{ns}	۰/۸۲^{ns}	−۱۸۴/۵۹^{ns}	۵۸۹/۸۰*	−۲/۲۳*	۲/۲۰^{ns}
	Comet	۰/۳۱^{ns}	−۰/۰۲^{ns}	−۰/۱۷**	۰/۵۲^{ns}	−۰/۶۰^{ns}	−۲۲۷/۵۳^{ns}	−۱۳۴/۶۷^{ns}	−۱/۰۴^{ns}	−۴/۳۰**
	Shiralee	−۲/۱۹^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۴۵**	−۱/۰۰^{ns}	۰/۱۹^{ns}	−۱۰۱/۹۱^{ns}	−۲۲۲/۰۸^{ns}	−۰/۸۲^{ns}	۱/۷۹^{ns}
	Kabel	−۰/۱۹^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۲۹**	۱/۸۲^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۱۳۳/۰۹^{ns}	−۴۷۹/۵۳**	۰/۸۰^{ns}	۱/۷۲^{ns}
	RGS003	۲/۶۰^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۱۹**	−۰/۰۷^{ns}	۰/۰۶^{ns}	−۱۶۰/۹۱^{ns}	−۵۴۶/۰۳**	۱/۳۴^{ns}	−۰/۵۴^{ns}
	اشتباه معیار	۱/۳۷	۰/۱۸	۰/۰۶	۱/۰۶	۰/۵۲	۱۴۹/۵۸	۱۴۳/۸۶	۱/۰۸	۱/۲۴

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴- برآوردهای میزان هتروزیس (٪) برای صفات مختلف ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

Table 4. Estimates of heterosis (%) for different traits in rapeseed genotypes under drought stress and non stress conditions

تستر	لاین‌ها	گلدهی		رسیدگی		ارتفاع بوته		غلاف در بوته		طول غلاف	
		غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش
Opera	دلگان	-۵/۱۸**	-۱/۰۷**	-۲/۵۷**	۶/۰۹ns	۱۴/۳۹**	۵۳/۴۵**	۲۹/۰۵**	۸/۷۲*	۳/۷۸ns	
	Amica	-۷/۴۲**	۱/۲۹**	-۰/۰۷ns	۳/۵۳ns	۴/۴۶ ns	۴۳/۲۸**	۲۸/۸۹**	۲/۸۷ns	۹/۸۱ns	
	Comet	-۶/۰۸**	-۳/۴۵**	-۰/۳۵ns	۵/۲۳ns	۹/۶۱**	۵۱/۸۵**	۲۴/۴۱**	۱/۸۲ns	۲/۴۴ns	
	Shiralee	-۴/۸۹**	-۱/۲۸**	-۰/۰۷ns	۱۱/۲۳*	۵/۲۷ns	۴۱/۴۸**	۸/۶۴ns	-۶/۳۶ns	۲/۶۱ns	
	Kabel	-۰/۳۷ns	-۰/۲۲*	۰/۹۰ns	-۱۲/۷۷**	۴/۰۴ns	۱۸/۲۸ns	۵/۱۶ns	-۱۰/۹۷*	۸/۲۲ns	
	RGS003	-۳/۷۳**	۰/۷۷**	-۰/۳۶ns	-۱۷/۵۵**	۷/۸۵*	۶/۶۷ns	۱۵/۴۳ns	-۱۶/۱۶**	۳/۴۳ns	
Parade	دلگان	-۸/۷۸**	-۳/۰۰**	-۱/۷۰**	-۱۰/۵۳*	-۱۰/۵۰**	-۹/۱۴ns	-۴۰/۵۴**	-۰/۹۰ns	-۵/۰۴ns	
	Amica	-۷/۹۶**	-۲/۸۰**	۰/۲۲ns	-۱/۴۷ns	-۸/۵۲**	۱۴/۱۰ns	-۱۱/۳۶ns	-۲/۹۵ns	-۰/۷۸ns	
	Comet	-۹/۰۱**	-۳/۸۹**	-۰/۰۶ns	۹/۲۳*	۷/۴۹**	۴۵/۳۳**	۶/۰۷ns	-۶/۸۵ns	۸/۸۷ns	
	Shiralee	-۵/۷۱**	-۱/۹۳**	-۱/۳۷**	۲/۶۴ns	-۳/۳۸ns	۹۳/۹۵**	-۱۰/۶۴ns	-۱/۳۲ns	۸/۳۹ns	
	Kabel	-۶/۱۸**	-۳/۸۹**	-۰/۴۱ns	۸/۴۰ns	۵/۳۶ns	-۶/۹۲ns	-۰/۱۰ns	-۴/۶۸ns	۷/۳۲ns	
	RGS003	-۷/۶۵**	-۲/۰۸**	-۰/۰۷ns	-۱۲/۲۶*	۱۰/۷۹**	۱۸/۵۲ns	-۱۶/۰۷ns	-۸/۵۴ns	۱۲/۵۶ns	
Licord	دلگان	-۴/۶۲**	-۲/۳۵**	-۵/۲۸**	۴۲/۲۴**	۱۸/۴۱**	۶۵/۷۶**	۴۴/۵۵**	۳/۷۶ns	۱۳/۲۰*	
	Amica	-۵/۸۰**	۰/۸۶**	-۳/۵۲**	۳۰/۹۳**	۱۱/۳۵**	۲۹/۸۱*	۱۳/۲۵ns	-۸/۷۷*	-۲/۷۲ns	
	Comet	-۷/۱۱**	-۲/۳۷**	-۳/۶۹**	۲۸/۸۹**	۲۰/۹۸**	۷۸/۰۱**	۲۹/۲۱**	۱/۸۲ns	۲/۵۵ns	
	Shiralee	-۵/۴۱**	-۱/۲۸**	-۳/۵۳**	۱۷/۰۸**	۱۶/۵۸**	۴۲/۳۶**	-۰/۷۴ns	-۸/۲۲*	-۲/۳۱ns	
	Kabel	-۲/۸۷**	-۱/۲۹**	-۳/۵۸**	۱۱/۰۰ ns	۱۳/۰۰**	۱۰/۴۹ns	۱۹/۰۱*	-۷/۵۴ns	۳/۱۸ns	
	RGS003	-۴/۲۹**	-۰/۱۱ns	-۴/۲۷**	۴/۱۴ ns	۲۱/۳۰**	۲۶/۳۵ns	۵/۵۹ns	-۰/۲۱ns	-۳/۶۵ns	

ادامه جدول ۴

Table 4. Continued

تستر	لاین‌ها	دانه در غلاف	وزن هزار دانه		میزان روغن		عملکرد دانه		شاخص برداشت	
		تنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
Opera	دلگان	-۲/۸۷ns	۴۶/۴۱**	۳۰/۵۴**	۴/۷۲ns	۱/۷۹ns	۵۹/۶۶**	۵۳/۶۹**	۳۰/۸۱**	۱۰/۰۶ns
	Amica	-۱۷/۶۶ns	۴۱/۵۶**	۲۸/۷۱**	۵/۹۴ns	۰/۰۹ns	۵۷/۰۷**	۸۳/۵۱**	۲۲/۷۸**	۰/۲۷ns
	Comet	۰/۲۷ns	۲۱/۰۴*	۱۷/۳۰**	۲/۸۹ns	۴/۶۴**	۱۶۸/۳۹**	۱۱۵/۵۳**	۳۷/۱۴**	۶۳/۰۴**
	Shiralee	-۱۱/۵۷ns	۲۵/۹۶**	۲۲/۲۹**	۱۲/۶۱**	۶/۳۵**	۵۴/۰۱**	۴۷/۱۴**	۲۳/۳۲**	-۱۴/۵۶ns
	Kabel	-۳۳/۵۴**	۳۷/۶۵**	۱۷/۴۱**	۴/۷۳ns	۴/۵۴**	۴۳/۴۲*	۷۰/۵۰**	۱۶/۹۸**	-۲/۷۰ns
	RGS003	-۲۸/۶۳**	۴۷/۱۲**	۱۷/۸۴**	۴/۷۰ns	۰/۸۵ns	۳۵/۱۵**	۹۳/۶۸**	۲۲/۰۲**	۲۵/۷۶**
Parade	دلگان	۲/۳۱ns	۱۸/۵۶*	۴۴/۷۸**	۳/۲۸ns	۶/۵۱**	۱۱/۸۱ns	۲/۵۷ns	۱۹/۰۹**	۵/۵۰ns
	Amica	-۹/۷۰ns	۹/۰۸ns	۳۷/۰۸**	۷/۷۴*	۴/۰۳*	۱۰/۳۲ns	۸۷/۱۵**	۳۹/۸۸**	۱۷/۶۶*
	Comet	۸/۹۷ns	۶/۷۴ns	۲۱/۸۹**	۴/۳۷ns	۹/۱۱**	۱۲۹/۱۴**	۶۹/۱۶**	۵۹/۳۳**	۲۹/۲۸**
	Shiralee	۱/۰۰ns	۲۲/۴۱**	۲۱/۲۳**	۵/۰۹ns	۴/۷۰**	۵۰/۲۰**	۵۴/۶۸**	۵۴/۸۱**	-۲/۲۹ns
	Kabel	۳/۸۳ns	۲۷/۶۹**	۸/۹۰**	۱۱/۲۸**	۲/۸۷ns	۵۳/۲۷**	۳۶/۰۴**	۴۹/۰۴**	-۴/۲۰ns
	RGS003	۱۲/۸۰ns	۳۳/۱۰**	۳۶/۸۱**	۵/۵۸ns	۳/۳۱*	۱۹/۲۰ns	۹۱/۶۴**	۲۹/۵۵**	۲۳/۲۰**
Licord	دلگان	۱۱/۳۹ns	۳۸/۷۸**	۲۶/۳۶**	۲/۶۰ns	۱/۹۲ns	۸۶/۱۶**	۹۶/۳۲**	۵۱/۰۱**	-۱۷/۸۲*
	Amica	-۶/۹۶ns	-۵/۹۳ns	۱۰/۴۷**	-۲/۶۰ns	۵/۲۸**	۲۳/۹۴ns	۱۷۱/۱۵**	۳۱/۸۰**	۱/۱۶ns
	Comet	۱۸/۷۵*	-۱۵/۳۲ns	۱۵/۱۸**	۲/۳۷ns	۵/۱۰**	۱۳۴/۷۱**	۹۹/۴۳**	۵۸/۰۴**	-۱۱/۸۸ns
	Shiralee	-۱۰/۲۷ns	۳۱/۲۸**	۵۲/۴۷**	۲/۴۰ns	۶/۵۰**	۵۲/۴۳**	۴۹/۸۶**	۴۸/۴۰**	-۱۶/۶۳*
	Kabel	-۵/۳۵ns	۴۵/۲۲**	۳۵/۶۰**	۱۱/۱۵**	۵/۰۰**	۸۱/۵۷**	۲۸/۲۲*	۵۲/۰۸**	-۱۲/۲۷ns
	RGS003	۲۸/۵۰**	۴۷/۷۲**	۴۴/۶۶**	۱/۷۱ns	۲/۶۳ns	۲۱/۸۳ns	۶۵/۳۴**	۴۶/۶۳**	-۳/۶۷ns

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ارتفاع بوته

بالاترین میزان GCA مثبت و معنی‌دار در رابطه با صفت ارتفاع بوته برای Amica و Comet در هر دو شرایط و دلگان در شرایط تنش مشاهده شد (جدول ۲). هیچکدام از تسترها در شرایط تنش تأثیر مثبت و معنی‌داری در بهبود ارتفاع نداشتند و رقم Licord برای شرایط آبی بهترین تستر شناسایی شد. معنی‌داری ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و غیرمعنی‌دار بودن تسترها در شرایط تنش در رابطه با صفت مذکور با گزارش فرشادفر و همکاران (۹) در توافق است. صفت ارتفاع گیاه ۲ تلاقی محیط تنش و ۴ تلاقی غیرتنش مثبت و معنی‌دار بود که تلاقی Licord × دلگان و Parade × دلگان بیشترین مقادیر SCA را به ترتیب در محیط تنش و غیرتنش را داشتند (جدول ۳). صفت ارتفاع بوته دارای دامنه هتروزیس ۱۷/۶- تا ۴۲/۲ در شرایط تنش و ۱۰/۵- تا ۲۱/۳ درصد در شرایط غیرتنش بود. بالاترین هتروزیس مثبت برای ارتفاع بوته از تلاقی آزمون‌گر Licord با لاین‌های والدی در هر دو شرایط بدست آمد (جدول ۴).

اجزای عملکرد

در رابطه با جزء عملکرد غلاف در بوته لاین Comet در هر دو شرایط و لاین دلگان در محیط تنش و تسترهای Opera برای هر دو شرایط و Licord محیط غیرتنش بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). هیبرید Shiralee × Parade دارای بیشترین SCA و درصد هتروزیس برای صفت غلاف در بوته در شرایط تنش و هیبرید Licord × دلگان در هر دو محیط تحت بررسی بود (جداول ۳ و ۴). برای صفت طول غلاف بوته لاین‌های Amica، Comet و دلگان برای محیط تنش بیشترین GCA را داشتند برای محیط غیرتنش تمامی لاین‌ها غیرمعنی‌دار شد. دو محیط برای طول غلاف تستر برتر مشترک داشتند و Opera بهترین بود (جدول ۲). طول غلاف تنها تلاقی‌های RGS003 × Licord محیط تنش و Licord × دلگان در محیط غیر تنش در سطح احتمال ۵ درصد مثبت و معنی‌دار شدند مابقی تلاقی‌ها در هر دو محیط غیرمعنی‌دار یا به‌طور منفی معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج هتروزیس نیز حاکی از عدم بهبود طول غلاف در اکثر تلاقی‌ها در دو محیط را داشت. تلاقی رقم Opera با لاین دلگان محیط تنش و رقم Licord با لاین دلگان محیط غیرتنش دارای هتروزیس مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بود (جدول ۴). صفت دانه در غلاف محیط تنش لاین Comet و تستر Licord با داشتن بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند (جدول ۲). اثرات مثبت و معنی‌داری برای ترکیب‌پذیری خصوصی صفت دانه در غلاف در بین تلاقی‌ها مشاهده نشد و همچنین تنها تلاقی رقم Licord با لاین RGS003 و Comet هتروزیس مثبت و معنی‌دار داشتند (جداول ۳ و ۴). لاین دلگان در هر دو شرایط و لاین‌های Kabel و RGS003 تنها برای محیط تنش بیشترین GCA معنی‌دار برای صفت وزن دانه داشتند (جدول ۲). تستر دو محیط متفاوت بود و Opera در محیط تنش و Licord در محیط غیرتنش بهترین بودند. با توجه به نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) وزن دانه تلاقی Amica × Opera در هر دو محیط معنی‌دار شد البته در محیط غیرتنش ۸ تلاقی دیگر نیز مثبت و معنی‌دار بود که به‌ترتیب Shiralee × Licord و Shiralee × Parade بیشترین مقادیر مثبت و معنی‌دار را داشتند که بیانگر نقش اثر غیرافزایشی ژن‌ها در افزایش این صفت در تلاقی‌های مذکور است (جدول ۳). نتایج هتروزیس نیز برای تمامی تلاقی‌ها به استثنای ۴ تلاقی در محیط تنش حاکی از برتری معنی‌دار نسبت به ارقام والدینی را داشت (جدول ۴).

میزان روغن و عملکرد دانه

بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار هر دو محیط برای صفت مهم میزان روغن دانه برای لاین‌های Comet و Shiralee مشاهده شد هیچکدام از تسترها در هر دو محیط تأثیرات مثبتی بر روی لاین‌ها نداشتند (جدول ۲). برای میزان روغن در هر دو محیط تمامی تلاقی‌ها به‌جز تلاقی Shiralee × Opera محیط تنش، اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی غیرمعنی‌دار بود این نتایج با نتایج هتروزیس مورد تایید قرار گرفت و تنها چند تلاقی هتروزیس ناچیزی را نشان داد (جدول ۴). نتایج پورداد و ساچان (۲۴) نیز بر روی ارقام هیبرید کلزا در چند محیط حاکی از اندک بودن افزایش درصد روغن به علت هتروزیس بود.

در رابطه با صفت عملکرد دانه به ترتیب لاین‌های Comet و دلگان برای هر دو محیط تنش و غیرتنش بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی را داشتند. البته لاین RGS003 برای محیط غیر تنش در سطح ۵ درصد نیز معنی‌دارشد. تستر مناسب برای عملکرد دانه نیز متفاوت بود محیط تنش Opera و غیرتنش Licord بهترین شناخته شد (جدول ۲). در میان همه تلاقی‌های اجرا شده، Parade × دلگان و Licord × دلگان در شرایط تنش و ۶ تلاقی به‌ترتیب Licord × دلگان، RGS003 × Parade، Amica × Licord، Shiralee × Parade، Kabel × Opera و Comet × Opera در شرایط عدم‌تنش دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار از نظر عملکرد دانه بودند (جدول ۳) که شاید به‌توان در نسل‌های پیشرفته از این تلاقی‌ها، گیاهانی با عملکرد بیشتر را انتخاب و این صفت را در نتاج حاصل تثبیت کرد. با توجه به هر دو محیط تلاقی Licord × دلگان دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی‌دار بود. لاین والدی دلگان این تلاقی در هر دو محیط دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بود و تستر Licord در شرایط عدم تنش نیز مثبت و معنی‌دار شد. دامنه هتروزیس در محیط تنش از ۱۰/۳ تا ۱۶۸/۴ (Comet × Opera) و محیط غیرتنش از ۲/۶ تا ۱۷۱/۲ (Amica × Licord) درصد متغیر بود (جدول ۴). مقادیر منفی در بین تلاقی‌ها مشاهده نشد که حاکی از موفق بودن هیبریدها در افزایش عملکرد به علت هتروزیس داشت. دایرز و همکاران (۵) نیز از بین صفات مورد بررسی در کلزا بیشترین هتروزیس را برای عملکرد دانه گزارش نمودند.

شاخص برداشت

در نهایت برای شاخص برداشت، لاین‌ها و تسترهای برتر

برای دو محیط متفاوت بود لاین‌های RGS003، Shiralee و دلگان برای محیط تنش و لاین Comet محیط غیرتنش به ترتیب بیشترین GCA معنی‌دار را داشتند. برای این صفت Licord در محیط تنش و Parade در محیط غیرتنش بهترین آزمون‌گر بود (جدول ۲). برآورد ترکیب‌پذیری خصوصی در تلاقی‌های صورت گرفته برای شاخص برداشت نشان داد که تنها تلاقی‌های Opera × دلگان و Shiralee × Parade محیط تنش و تلاقی Comet × Opera محیط عدم تنش دارای SCA مثبت و معنی‌دار به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است (جدول ۳). تمامی تلاقی‌ها در محیط تنش هتروزیس مثبت و معنی‌دار داشتند ولی در محیط غیرتنش برخی از تلاقی‌ها مثبت و معنی‌دار بود و تلاقی‌هایی با هتروزیس منفی هم مشاهده شد (جدول ۴). بنابراین کلیه نتایج بدست آمده از واکنش متفاوت دو محیط برای صفت مزبور را نشان داد.

پارامترهای ژنتیکی

محاسبه اجزای واریانس ژنتیکی (واریانس افزایشی، غالبیت و وراثت‌پذیری) برای صفات مختلف بر اساس تجزیه لاین در تستر به‌طور جداگانه در دو محیط نشان داد (جدول ۵) که مقدار وراثت‌پذیری عمومی صفات از ۶۸/۱۴ (دانه در غلاف) تا ۹۹/۵۸ (رسیدگی) محیط تحت تنش و از ۳۸/۰۶ (طول غلاف) تا ۹۷/۰۲ (وزن دانه) درصد محیط تحت آبیاری متغیر بود و وراثت‌پذیری خصوصی نیز از ۳۴/۷۵ (گلدهی) تا ۸۵/۴۱ (ارتفاع) محیط تنش و از ۱۷/۹۶ (طول غلاف) تا ۶۸/۲۶ (رسیدگی) درصد محیط تحت آبیاری متغیر بود. کنترل ژنتیکی صفات به‌جز رسیدگی برای دو محیط متفاوت است طوری‌که برای صفت گلدهی در محیط تحت آبیاری تکمیلی اثرات افزایشی ژن‌ها نقش مهم‌تری داشت و بهبود از طریق گزینش در این شرایط محیطی نسبت به محیط تنش مؤثرتر بود. صفات ارتفاع بوته، اجزای عملکرد تعداد غلاف، طول غلاف، وزن دانه و در نهایت عملکرد دانه و شاخص برداشت در محیط تنش اثرات افزایشی ژنی و محیط تحت آبیاری اثرات غالبیت تاثیرگذارتر بود. وراثت‌پذیری خصوصی صفت رسیدگی در هر دو شرایط محیطی مشابه بود و محیط اثرهای ژنی را تغییر نداد. غلامی و همکاران (۱۳) در بررسی ارقام کلزا به روش لاین در تستر برای صفات تعداد روز تا رسیدن و وزن هزار دانه اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی خصوصیات مورد مطالعه بیشتر گزارش نمود. کاین و همکاران (۲۵) برای صفت عملکرد دانه در تلاقی بین لاین‌های زمستانه با بهاره، GCA بالایی نسبت به SCA گزارش نمودند. صفات دانه در غلاف و میزان روغن دانه در هر دو محیط از توارث‌پذیری خصوصی نسبتاً پایینی برخوردار بودند. با توجه به سهم بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها، پتانسیل انتخاب برای این صفات در هر دو محیط زیاد نیست و روش دورگ‌گیری و استفاده از پدیده هتروزیس برای بهبود آن‌ها مناسب‌تر است. هر چند که در این تحقیق میزان بهبود هتروزیس میزان روغن دانه حداکثر تا ۱۲/۶ درصد در محیط تنش بدست آمد (جدول ۴). بنابراین توجه به شناسایی هیبریدهایی با توان تولید عملکرد دانه بالا که در نهایت منجر به تولید روغن در واحد سطح بالایی شوند بسیار مؤثرتر خواهد بود. وانگ و همکاران (۳۷)در واریته‌های کلزا با محتوی متفاوت روغن مدل افزایشی- غالبیت (بیش از ۷۰ درصد) با اثر اپیستاتیک کوچک را برای توارث روغن ارائه نمودند. این پژوهشگران توارث‌پذیری عمومی و خصوصی برای صفت میزان روغن دانه را به‌ترتیب ۸۳/۹ و ۳۶/۹ درصد گزارش نمودند. مینا و همکاران (۲۰) نیز با اجرای یک تلاقی لاین در تستر و ارزیابی ترکیب‌پذیری، به نقش غیرافزایشی اکثر صفات از جمله عملکرد و میزان روغن اشاره داشته‌اند.

سهم اجزای تلاقی همچنین در جدول ۵ آورده شده است. از کل تنوع در اکثر صفات زراعی از جمله میزان روغن و عملکرد دانه سهم لاین‌ها نسبت به دو جزء دیگر در هر دو محیط بیشتر بود که حاکی از تنوع مناسب‌تر در بین لاین‌های مورد مطالعه بود و تلاقی با تسترها نتوانسته است

تنوع بیشتری در هیبریدها ایجاد نماید. همچنین سهم لاین× تسترها کلیه صفات محیط تحت آبیاری به استثنای گلدهی و رسیدگی بیشتر از محیط تنش بود. با توجه به نتایج این پژوهش، ارقام عادت رشد پاییزه Parade برای زودرسی، Opera برای بهبود عملکرد تنش و Licord برای شرایط مطلوب ارقام آزمون‌گر مناسب در جهت استفاده در برنامه‌های تولید هیبرید شناسایی شدند. با توجه به هر دو محیط تلاقی Licord × دلگان بالاترین عملکرد دانه را (تاپ کراس) داشت. همچنین این تلاقی در شرایط تنش جزو تلاقی‌های انتخابی در جهت زودرسی شناسایی شد. این تحقیق نشان داد که نتایج اجزای ژنتیکی حاصل از محیط تنش به غیرتنش قابل تعمیم نیست و در نتیجه مطالعه ویژگی‌های ژنتیکی لاین‌ها تحت محیط‌های متفاوت امری اجتناب ناپذیر است تا برآورد عمل ژن‌ها با دقت بیشتری همراه باشد.

جدول ۵- برآوردهای اجزای واریانس، وراثت‌پذیری و سهم لاین، تستر و اثرمتقابل برای صفات زراعی ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی

Table 5. Estimates of variance components, heritability and contribution of the line, tester, and interaction for agronomic traits of rapeseed genotypes under drought stress and non stress conditions

اجزای ژنتیکی		گلدهی		رسیدگی		ارتفاع بوته		غلاف در بوته		طول غلاف	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
واریانس	افزایشی	۱۲/۶۶	۱۰/۷۶	۷/۹۹	۵/۷۷	۱۰۹۵/۷۲	۷۵/۴۷	۹۶۳/۱۰	۱۹۵/۶۵	۰/۲۳	۰/۰۴
	غالبیت	۲۳/۴۸	۳/۳۲	۳/۹۸	۱/۰۴	۱۳۸/۳۵	۸۵/۱۶	۳۳۳/۵۹	۳۴۳/۸۰	۰/۰۷	۰/۰۵
وراثت‌پذیری (درصد)	عمومی	۹۹/۲۳	۸۷/۸۴	۹۹/۵۸	۸۰/۵۳	۹۶/۲۰	۸۲/۵۶	۹۱/۸۸	۸۰/۳۱	۸۵/۱۴	۳۸/۰۶
	خصوصی	۳۴/۷۵	۶۷/۱۵	۶۶/۴۵	۶۸/۲۶	۸۵/۴۱	۳۸/۷۹	۶۸/۲۴	۲۹/۱۳	۶۵/۳۸	۱۷/۹۶
سهم (درصد)	لاین	۱۹/۵۶	۳۹/۵۶	۳۸/۴۲	۵۶/۴۵	۸۸/۵۶	۳۳/۰۰	۷۱/۳۳	۲۲/۲۷	۶۴/۰۸	۲۰/۱۱
	تستر	۴۸/۳۰	۴۷/۱۶	۴۵/۴۸	۲۹/۴۰	۱/۷۷	۳۲/۶۸	۷/۵۳	۴۰/۱۱	۱۶/۰۸	۳۵/۹۷
	لاین× تستر	۳۲/۱۴	۱۳/۲۸	۱۶/۱۰	۱۴/۱۴	۹/۶۷	۳۴/۳۲	۲۱/۱۳	۳۷/۶۲	۱۹/۸۴	۴۳/۹۲

ادامه جدول ۵

Table 5. Continued

اجزای ژنتیکی		دانه در غلاف		وزن هزار دانه		میزان روغن دانه		عملکرد دانه		شاخص برداشت	
		تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش	تنش	غیرتنش
واریانس	افزایشی	۵/۹۳	۰/۵۵	۰/۱۲	۴/۳۱	۰/۷۰	۱۴۸۳۰۱/۸۱	۲۷۸۶۷۰/۶۵	۱۴/۹۲	۵/۵۰
	غالبیت	۲/۰۶	۰/۰۴	۰/۱۱	۱/۰۹	۰/۳۹	۱۷۲۱۳/۹۴	۲۸۸۰۸۱/۴۵	۴/۹۲	۵/۴۵
وراثت‌پذیری (درصد)	عمومی	۶۸/۱۴	۹۰/۱۲	۹۷/۰۲	۷۰/۴۲	۶۶/۷۷	۹۳/۲۴	۹۳/۱۹	۸۹/۵۲	۷۸/۱۷
	خصوصی	۵۰/۵۵	۸۳/۳۸	۵۱/۷۱	۵۶/۲۵	۴۲/۹۴	۸۳/۵۴	۴۵/۸۲	۶۷/۳۳	۳۹/۲۵
سهم (درصد)	لاین	۶۰/۱۶	۸۱/۹۶	۵۹/۷۵	۶۹/۲۵	۵۴/۱۵	۸۴/۳۳	۵۱/۴۳	۷۴/۳۰	۳۹/۵۴
	تستر	۱۰/۹۴	۹/۴۸	۲/۴۸	۵/۰۴	۹/۶۵	۵/۹۱	۸/۶۳	۳/۷۸	۲۳/۵۷
	لاین× تستر	۲۸/۹۰	۸/۵۶	۳۷/۷۶	۲۵/۷۱	۳۶/۲۰	۹/۷۶	۳۹/۹۴	۲۱/۹۲	۳۶/۸۹

منابع

1. Arefi, S., A. Nabipoor and H. Samizade. 2015. Evaluation of combining ability of sunflower lines based on line × tester analysis under water stress and non-stress conditions. Journal of Crop Breeding, 7 (15): 115-125 (In Persian).
2. Butruille, D.V., R.P. Guries and T.C. Osborn. 1999. Increasing yield of spring oilseed rape Hybrids through introgression of winter germplasm. Crop Science, 39: 1491-1496.
3. Choukan, R., A. Estakhr, A. Afarinesh, Gh.R. Afsharmanesh, M.R. Shiri, A. Mosavat and Sh. Fareghei.2014. Combining ability of tropical maize lines derived from CIMMYT germplasm in crossing with temperate lines. Iranian Journal of Crop Sciences, 16(4): 334-345 (In Persian).
4. DelaVega, A.J. and S.C. Chapman. 2006. Multivariate analyses to display interactions between environment and general or specific combining ability in hybrid crops. Crop Science, 46: 957-967.
5. Diers, B.W., P.B.E. McVetty and T.C. Osborn. 1996. Relationship between heterosis and genetic distance based on restriction fragment length polymorphism markers in oilseed rape (*Brassica napus* L.,). Crop Science, 36: 79-83.
6. Engqvist, G.M. and H.C. Becker. 1991. Heterosis and epistasis in rapeseed estimated from generation means. Euphytica, 58: 31-41.
7. Fan, X.M., X.F. Yin, Y.D. Zhang, Y.Q. Bi, L. Liu, H.M. Chen and M.S. Kang. 2016. Combining ability estimation for grain yield of maize exotic germplasm using testers from three heterotic groups. Crop Science, 56: 2527-2535.
8. FAO. 2016. Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT statistics database. Available online at: http://www.faostat.fao.org.
9. Farshadfar, E., Z. Kazemi and A.Yaghotipoor. 2013. Estimation of combining ability and gene action for agro-morphological characters of rapeseed (*Brassica napus* L.) using line×tester mating design. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1: 711-717.
10. Fehr, W.R. 1993. Principles of cultivar development. MacMillan Publ. Co. New York, USA, 1, 342 pp.
11. Gami, R.A. and R.M. Chauhan. 2013. Heterosis and combining ability analysis for seed yield and its attributes in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern & Coss.]. Indian Journal of Agricultural Research, 47: 535-539.
12. Ghaffari, M., F. Shariati and A. Lack. 2016. Genetic analysis of seed and oil yield related agronomic traits under optimum and limited irrigation in sunflower. Iranian Journal of Dryland Agriculture, 5(1): 225-247 (In Persian).
13. Gholami, H., M. Moghaddam and V. Rameeh. 2008. Estimation of combining ability in rapeseed (*Brassica napus* L.) using line × tester cross method. Seed and Plant Improvement Journal, 24(3): 399-411 (In Persian).

14. Ghorbani, H.R., H. Samizadeh Lahiji, B. Rabiei and M. Allah Gholipour. 2014. Line × tester analysis for yield and yield components in rice lines. Iranian Journal of Field Crop Science, 44(4): 683-692 (In Persian).
15. Hale, A.L., M.W. Farnham, M.N. Nzaramba and C.A. Kimbeng. 2007. Heterosis for horticultural traits in Broccoli. Theoretical Applied Genetics, 115: 351-360.
16. Kanatti, A., K. Nath Rai, K. Radhika and M. Govindaraj. 2016. Tester effect on combining ability and its relationship with line performance per se for grain iron and zinc densities in pearl millet. Crop Science, 56: 689-696.
17. Kemptorn, O. 1957. An introduction to genetic statistics. John Wiley and Nordskoy. Inc. London, Champman and Hall, LTD.
18. Kothari, N., B.T. Campbell, J.K. Dever and L.L. Hinze. 2016. Combining ability and performance of cotton germplasm with diverse seed oil content. Crop Science, 56: 19-29.
19. Kumar, M., P.K. Singh and N.P. Singh 2000. Line × tester analysis for seed yield and its components in linseed (*Linum usitatissimum* L.). Annals of Agricultural Research, 21(4): 485-489.
20. Meena, H.S. , A. Kumar, B. Ram, V.V. Singh, P.D. Meena, B.K. Singh and D. Singh. 2015. Combining ability and heterosis for seed yield and its components in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, 17: 1861-1871.
21. Moghaddam, M. and H. Amiri Oghan. 2010. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Publication of Tabriz University, Tabriz, Iran. 415 pp (In Persian).
22. Narro, L., S. Pandey, J. Crossa, C. De Leo´n and F. Salazar. 2003. Using line - tester interaction for the formation of yellow maize synthetics tolerant to acid soils. Crop Science, 43: 1718-1728.
23. Ofori, A., and H.C. Becker. 2008. Breeding of brassica Rapa for biogas production: heterosis and combining ability of biomass yield. Bioenergy Research, 1: 98-104.
24. Pourdad, S. S. and J.N. Sachan. 2003. Study On heterosis and inbreeding depression in agronomic and oil quality characters of rapeseed (*Brassica napus* L.). Seed and Plant Improvement Journal, 19(3): 413-427 (In Persian).
25. Qian, W., O. Sass, J. Meng, M. Li, M. Fruen and C. Jung. 2007. Heterotic patterns in rapeseed (*Brassica napus* L.): I. crosses between spring and Chinese semi-winter lines. Theoretical Applied Genetics, 115: 27-34.
26. Quijada, P.A., J.A. Udall, H. Polewicz, R. Vogelzang and T.C. Osborn. 2004. Phenotypic effects of introgressing French winter germplasm into hybrid spring canola. Crop Science, 44: 1982-1989.
27. Rahman, H. and B. Kebede. 2012. Improvement of spring canola *Brassica napus* (L.) by use of winter canola. Journal Oilseed Brassica, 3: 1-17.
28. Rahman, H., A. Bennett and R.C. Yang. 2016. Patterns of heterosis in three distinct inbred populations of spring *Brassica napus* Canola. Crop Science, 56: 2536-2545.
29. Rajcan, I., K.J. Kasha, L.S. Kott and W.D. Beverdorf. 1999. Detection of molecular markers associated with linolenic and erucic acid levels in spring rapeseed (*Brassica napus* L.). Euphytica, 105: 173-181.
30. Rameeh V.O. 2009. Estimation of heritability and heterosis for agronomic traits and oil content in rapeseed spring varieties. Journal of Crop Breeding, 1(4): 1-13 (In Persian).
31. Reif, J.C., Y. Zhao, T. Würschum, M. Gowda and V. Hahn. 2013. Genomic prediction of sunflower hybrid performance. Plant Breeding, 132: 107-114.
32. Shehzad, A., H.A. Sadaqat, M. Ali and M.F. Ashraf. 2015. Combining ability analysis and genetic-effects studies for some important quality characters in *Brassica napus* L. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 3(10): 790-795.
33. Singh, R.K. and B.D. Chaudhary.1977. Biometrical methos in quantitative genetic analysis. Kalyani Pub., New Delhi.
34. Starmer, K.P., J. Brown, and J.B. Davis. 1998. Heterosis in spring canola hybrids grown in northern Idaho. Crop Science, 38: 376-380.
35. Teklewold, A. and H.C. Becker. 2005. Heterosis and combining ability in a diallel cross of Ethiopian mustard inbred lines. Crop Science, 45: 2629-2635.
36. Wang, J.S., X.F. Wang, Y.F. Zhang, Z. Zhang, J.H. Tian and D.R. Li. 2007. Study on heterosis among subspecies or varieties in *B. campestris* L. 12th International Rapeseed Congress, Wuhan, (TRCW'07), China, 108-110 pp.
37. Wang, X., G. Liu, Q. Yang, W. Hua, J. Liu and H. Wang. 2010. Genetic analysis on oil content in rapeseed (*Brassica napus* L.). Euphytica, 173: 17-24.
38. Zamani, M. and R. Choukan. 2005. Evaluation of combinig ability and genetic variance of maize line × tester crosses for determination of resistant sources to fusarium ear rot. Pajouhesh and Sazandegi, 66: 97-103 (In Persian).

Estimation of Genetic Effects for Different Traits in Rapeseed (*Brassica napus* L.) using Line × Tester Crosses under Water-Stressed and Well-Watered Conditions

Mehdi Jamshidmoghadam[1], Ezatoollah Farshadfar[2] and Abduollah Najafi[3]

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Razi University
3- Associated Professor, Razi University (Crossponding author: nadjaphy@yahoo.com)
Recived: October 24, 2017 Accepted: Septamber 30, 2018

Abstract

In order to estimate the effects of general (GCA) and specific (SCA) combining ability, heterosis and genetic control of different traits in rapeseed including yield and seed oil content, six lines of spring type and three testers Opera, Parade and Licord of winter type were crossed in 2014-2015. The 18 progenies and their parents were evaluated in a randomized complete block design at the Dryland Agricultural Research Institute (Sararood) under water-stressed (WS) and well-watered (WW) conditions in 2015-2016 cropping season.The results of line × tester analysis revealed that the GCA due to lines in all traits except for pod length in WW and the SCA due to line × tester in all of the traits except for seeds per pod and oil content in WS, and pod length in WW were significant for both environments.The genetic control of the traits was different in both conditions indicating that the gene effects were influenced by the environment for most studied traits. For seed yield, additive and non-additive effects were more important in WS and WW environments, respectively. Seed oil content had relatively low narrow sence heritability in both conditions. The most heterosis for seed yield was belonged to Comet × Opera (168%, WS) and Amica × Licord (171%, WW) hybrids The highest heterosis for seed oil content was observed in Shiralee × Opera hybrid in both environments (12.6% in WS and 6.4% in WW). The testers Opera and Licord were suitable to improve yield in WS and WW environments, respectively. The lines Comet and Dalgan had the highest GCA and the Dalgan × Licord hybrid had the highest SCA (Top cross) for seed yield in both conditions.

Keywords: Combining ability, Gene effect, Heritability, Heterosis