دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

تجزیه ژنتیکی عملکرد و برخی صفات مهم کلزا در شرایط کشت معمول و تأخیری

حسن امیری اوغان[۱]، محمد مقدم واحد[۲]، رضا عطایی[۳] و مجید غلامحسینی[۳]

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: amirioghan2014@gmail.com)
۲- استاد، گروه به نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۱

چکیده

ایجاد ارقام پرمحصول برای ایجاد تعادل بین افزایش تولید و نیاز غذایی مردم از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌منظور تعیین وراثت صفات مهم زراعی در کلزا، تجزیه لاین×تستر با تلاقی ۱۰ لاین و ۱۰ تستر (سه والد زمستانه و هفت والد بهاره) انجام شد. دورگ‌های نسل اول به همراه ۲۰ والد (۱۲۰ ژنوتیپ) در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در دو شرایط مختلف (تاریخ کاشت معمول و تأخیری) کشت شدند و صفات تعداد روز تا گلدهی، طول دوره گلدهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بررسی شدند. نتایج نشان داد اختلاف بین ژنوتیپ‌ها برای همه صفات مورد مطالعه (تعداد روز تا گلدهی، طول دوره گلدهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و محیط تأثیر متفاوتی بر ژنوتیپ‌ها داشت. مقادیر بالای وراثت‌پذیری عمومی (بین ۷۳/۶۵ درصد برای تعداد شاخه در بوته و ۸۷/۶۵ درصد برای عملکرد دانه) نشان داد میزان واریانس ژنتیکی نسبت به واریانس محیطی بیشتر است. برآورد کمتر از واحد برای نسبت میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی به میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی صفات مورد بررسی و مقدار متوسط وراثت‌پذیری خصوصی (بین ۲۹ درصد برای ارتفاع بوته و ۷۰ درصد برای عملکرد دانه) نشان داد که عمل غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی آن‌ها نقش بیشتری دارد. تجزیه ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌های مطلوب برای صفات مورد مطالعه را شناسایی کرد و برآورد هتروزیس نسبت به والد برتر نشان داد می‌توان از دورگ‌های معرفی شده در این پژوهش برای اصلاح و بهبود صفات زراعی استفاده کرد. دورگ‌های T9×L2، T3×L2، T3×L9 و T3×L5 در شرایط تاریخ کاشت معمول و T3×L5، T7×L6، T5×L10 و T7×L7 در شرایط کاشت تأخیری دارای بیشترین هتروزیس برای عملکرد دانه بودند و امکان استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی با هدف افزایش عملکرد کلزا وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب‌پذیری، کلزا، لاین×تستر، هتروزیس

مقدمه

در حدود یک سوم از مساحت زمین‌های جهان پتانسیل زراعت و کشاورزی را دارد. با این حال فقط ده درصد این زمین‌ها مورد استفاده کشاورزی قرار می‌گیرند. با اینکه جمعیت جهان به‌طور روزافزون در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که در پایان سال ۲۰۵۰ میلادی به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد، تولیدات محصولات کشاورزی به دلیل تأثیر انواع مختلف تنش‌های زیستی و غیرزیستی با کاهش چشمگیری روبرو شده است. تنش‌های محیطی موجب کاهش قابل توجه عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند و تنش سرما یکی از عوامل عمده محیطی است که رشد، تولید و توزیع جغرافیایی گیاهان را محدود می‌کند (۱۷،۴۶).

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده کروسیفرا 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 به عنوان گیاه روغنی سبب شده است که سطح زیر کشت آن افزایش یابد (۴۱). بر اساس گزارش‌های فائو، سطح زیر کشت جهانی کلزا در طول یک دهه اخیر (از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) از حدود ۲۵ میلیون هکتار به ۳۶ میلیون هکتار (۴۲٪ افزایش سطح زیر کشت) رسیده است.

انتخاب تاریخ کاشت مناسب بویژه در کشت‌های پاییزه کلزا از اهمیت خاصی برخوردار است. در کشت‌های پاییزه، گیاه باید قبل از فرا رسیدن سرما از رشد و ذخیره غذایی کافی برخوردار باشد تا بتواند در برابر سرمای زمستانه مقاومت نماید. هرگونه تأخیر در کاشت نه تنها موجب سرمازدگی می‌شود بلکه ممکن است دوره گلدهی و دانه‌بندی گیاه نیز با خشکی و گرما مواجه شود (۹). کشت تأخیری کلزا علاوه بر کاهش عملکرد باعث کاهش کیفیت نیز می‌شود (۶،۳۱). بررسی تأثیر کشت تأخیری و تنش خشکی بر روی کلزا نشان داد تأثیر منفی تأخیر در کاشت بر روی صفات زراعی کلزا بسیار بیشتر از تنش خشکی است. تأخیر در کاشت از نیمه دوم شهریور تا نیمه دوم مهرماه باعث کاهش معنی‌دار تعداد برگ در بوته و قطر طوقه شده و میزان خسارت سرمازدگی در گیاهان را تا حد زیادی افزایش می‌دهد (۱۰،۲۸). نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت کلزا باعث کاهش تعداد خورجین در بوته (۴،۵)، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های فرعی (۲۷) و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه و روغن می‌شود. در مطالعه‌ای به منظور تعیین میزان کاهش عملکرد کلزا گزارش شد که به ازای هر هفت روز تأخیر در کاشت عملکرد کلزای بهاره و زمستانه به ترتیب ۳ تا ۹ درصد کاهش نشان می‌دهد (۱۳). نتایج تحقیقات صورت گرفته در چین نشان می‌دهد کاشت کلزا بعد از تاریخ کاشت بهینه (اوایل اکتبر) باعث کاهش ۲۰ درصد عملکرد کلزا می‌شود (۴۵).

به منظور اصلاح ژنوتیپ‌های کلزا با عملکرد قابل قبول در کشت‌های تأخیری و مقاوم به تنش سرما (در کشت‌های تأخیری پاییزه سرمازدگی یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد کلزا است) شناخت ساختار ژنتیکی نحوه توارث، میزان

ترکیب‌پذیری والدین و نحوه عمل ژن‌های کنترل‌کننده صفات مهم زراعی ضروری است (۳۳). انتخاب نوع روش‌های اصلاحی تا حد زیادی بستگی به میزان وراثت‌پذیری صفت و نوع عمل ژن دارد. وجود اثرات افزایشی ژن‌ها در جمعیت نشانگر کارایی بالای گزینش در مقایسه با دیگر روش‌های اصلاحی می‌باشد در حالی که اصلاح ارقام هیبرید در حضور اثرات غیر افزایشی ژن‌ها (غالبیت و فوق غالبیت) توجیه‌پذیر است. در برنامه‌های اصلاحی ایجاد ارقام هیبرید پارامترهای ترکیب‌پذیری و هتروزیس از اهمیت قابل توجهی برخوردارند (۴۰). اغلب مطالعات گذشته بر روی عملکرد و دیگر صفات زراعی نشان داد علاوه بر اثرات افزایشی، اثرات غیر افزایشی در کنترل این صفات نقش مهمی دارند (۱۵،۲۰،۴۷)

یکی از روش‌های برآورد پارامترهای ژنتیکی روش تجزیه لاین×تستر است. این روش در مقایسه با روش دای‌آلل، توان ارزیابی تعداد زیادی ژنوتیپ را دارد و در مقایسه با روش‌های دیگر از سادگی و قابلیت اطمینان خوبی برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی نحوه توارث برخی صفات مهم کلزا مانند تعداد روز تا گلدهی، طول دوره گلدهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و تعیین بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی و خصوصی و میزان هتروزیس نسبت به والد برتر با استفاده از تجزیه لاین× تستر در دو شرایط نرمال و کشت تأخیری (برای ارزیابی مقاومت به سرما در شرایط مزرعه) 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 سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. آزمایش عناصر ماکرو، اسیدیته، هدایت الکتریکی و بافت خاک انجام پذیرفت و بر اساس آزمون خاک توصیه کودی صورت گرفت. سایر خصوصیات خاک مانند واکنش خاک، بافت و هدایت الکتریکی خاک در هر دو سال آزمایش در حد قابل قبول بود که نشان‌دهنده وضعیت مناسب خاک مزرعه از لحاظ ظرفیت تبادل کاتیونی و فراهم بودن عناصر غذایی برای گیاه بود. مقدار فسفر و پتاسیم مورد نیاز به ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) تأمین شد. اوره به صورت سرک در سه مرحله ۲ تا ۴ برگی، ساقه رفتن و شروع گلدهی به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. وجین علف‌های هرز به روش دستی و آبیاری نیز به صورت 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. ده لاین به همراه و ۱۰ تستر متحمل به سرما (جدول ۱) در بلوک‌های تلاقی کاشت و دورگ‌گیری بین آن‌ها به‌صورت آرایش لاین×تستر (فاکتوریل) انجام شد. دورگ‌های نسل اول به همراه 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) در مزرعه تحقیقاتی کشت و ارزیابی شدند. صفات تعداد روز تا گلدهی، طول دوره گلدهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس مشاهدات و تصحیح میانگین داده‌ها بر اساس طرح آلفا لاتیس (۲۹) و با بهره‌گیری از نرم‌افزار PLABSTAT انجام شد. تجزیه واریانس برای محاسبه ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها و عمومی والدین، برآورد عمل ژن و تعیین وراثت‌پذیری صفات در هر دو شرایط آزمایش بر اساس اطلاعات حاصل از تجزیه لاین×تستر انجام شد. تجزیه لاین×تستر به صورت مرکب در دو محیط معمول و تأخیری و با استفاده از میانگین تصحیح‌شده تیمارها صورت گرفت.

نحوه عمل ژن از نسبت میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی به مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی تعیین شد. میانگین درجه غالبیت از جذر دو برابر واریانس غالبیت تقسیم بر واریانس افزایشی به دست آمد. مقادیر وراثت‌پذیری عمومی (H^2) و خصوصی (h^2) صفات در واحد میانگین تیمارها نیز به ترتیب از روابط زیر محاسبه شد:

$$H^2=(VA+VD)/(VA+VD+M`e)\times100$$
$$h^2=VA\ /(\ VA+VD+M`e)\ \times100$$

که در آن M`e میانگین مربعات خطای آزمایشی تقسیم بر تعداد تکرار است. در این بررسی هتروزیس نسبت به والد برتر محاسبه شد و معنی‌دار بودن آن به روش LSD آزمون شد.

جدول ۱- مشخصات لاین‌ها و تسترهای مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Characteristics of the lines and testers used in this research

کد	لاین	تیپ رشد	منشأ	کد	تستر	تیپ رشد	منشأ
L1	Zarfam	بینابین	ایران	T1	Okapi	زمستانه	فرانسه
L2	Talaye	زمستانه	ایران	T2	Licord	زمستانه	آلمان
L3	SLM046	زمستانه	آلمان	T3	Orient	زمستانه	آلمان
L4	Geronimo	زمستانه	فرانسه	T4	RGS003	بهاره	آلمان
L5	Modena	زمستانه	دانمارک	T5	Sarigol	بهاره	ایران
L5	Opera	زمستانه	سوئد	T6	Option 500	بهاره	کانادا
L7	Symbol	زمستانه	ایتالیا	T7	19-H	بهاره	پاکستان
L8	KS-11	زمستانه	ایران	T8	Shiralee	بهاره	استرالیا
L9	Colvert	زمستانه	فرانسه	T9	SAN-14	بهاره	ایران
L10	KS-7	زمستانه	ایران	T10	SAN-12	بهاره	ایران

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ساده لاین×تستر بر پایه طرح آلفا لاتیس نشان داد اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه در هر دو شرایط آزمایش معنی‌دار بود. با توجه به مؤثر بودن بلوک‌بندی ناقص و پس از تأیید یکنواختی واریانس خطاهای درون تیماری توسط آماره Fmax، تجزیه واریانس مرکب لاین×تستر بر پایه طرح آلفا لاتیس نشان داد بین محیط‌ها برای کلیه این صفات اختلاف معنی وجود دارد؛ بنابراین تفاوت میانگین صفات ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود و تأثیر تغییر تاریخ کاشت بر روی صفات مورد بررسی متفاوت بود (جدول ۲). در بین گیاهان دانه روغنی، کلزا علی‌رغم 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 از طرفی کشت تأخیری کلزا باعث کاهش بنیه گیاه، کاهش ذخیره مواد غذایی در گیاه و افزایش خسارت تنش سرما بر روی عملکرد می‌شود (۲۶). 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 (بویژه ارقام بهاره کلزا) محدود می‌باشد و افزایش تنوع ژنتیکی 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،۳۶). میانگین مربعات والدین در برابر دورگ‌ها نشان‌دهنده وجود هترزیس در جمعیت مورد مطالعه است (۱۸). میانگین مربعات والدین در برابر دورگ‌ها برای صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه اثر دورگ‌ها به اجزای خود بر مبنای تجزیه لاین×تستر نشان داد که اثر لاین‌ها، تسترها و نیز اثر لاین×تستر از نظر همه صفات معنی‌دار بود و لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف واکنش‌های متفاوتی داشتند (جدول ۲).

میانگین درجه غالبیت برای صفات تعداد وزن هزار دانه و عملکرد دانه در شرایط تاریخ کاشت معمول و تعداد شاخه در بوته در شرایط کاشت تأخیری کمتر از یک و برای بقیه صفات در هر دو شرایط کاشت بزرگتر از یک بود که به ترتیب دلالت بر وجود عمل غالبیت ناقص و فوق غالبیت دارد. برآورد کمتر از واحد برای نسبت میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی به میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی صفات مورد بررسی نشان داد که عمل غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی آن‌ها نقش بیشتری دارد. برآورد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی نشان داد مقدار وراثت‌پذیری عمومی صفات مورد بررسی از ۷۳/۶۵ درصد برای تعداد شاخه در بوته تا ۸۷/۶۵ درصد برای عملکرد دانه متغیر بود. مقادیر بالا و دامنه تغییرات کم وراثت‌پذیری عمومی نشان داد که اهمیت واریانس ژنتیکی به مراتب بیشتر از واریانس محیطی است. کمترین مقدار وراثت‌پذیری خصوصی برای ارتفاع بوته در شرایط کشت معمول (۰/۲۹) و بیشترین وراثت‌پذیری خصوصی متعلق به عملکرد دانه در شرایط کشت تأخیری (در حدود ۰/۷۰) بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (کاشت معمول و تأخیری) بر پایه طرح آلفا لاتیس
Table 2. Combined variance analysis (normal and delayed planting date) based on α-lattice design

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد روز تا گلدهی	طول دوره گلدهی	ارتفاع	تعداد شاخه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
محیط (تاریخ کاشت)	۱	۲۷۲۴۲/۰۶**	۱۱۹۹/۴۸**	۲۶۴۵۴/۹۶**	۱۶۲/۴۴**	۱۱/۶۹**	۱۱۸/۸۵**
تیمار تصحیح‌شده	۱۱۹	۱۳/۹۶**	۱۳/۲۸**	۱۹۵/۰۷**	۰/۵۳**	۰/۱۷**	۰/۳۶**
والدین	۱۹	۳۳/۰۳**	۲۰/۹۶**	۴۷۶/۵۴**	۰/۵۵**	۰/۲۱**	۰/۲۹**
والدین در برابر دورگ	۱	۴/۳۲	۴/۰۰	۲۵۲/۰۷**	۰/۰۳	۰/۵۳**	۰/۹۲**
دورگ	۹۹	۱۰/۴۰**	۱۱/۸۹**	۱۴۰/۴۷**	۰/۵۳**	۰/۱۶**	۰/۳۶**
لاین	۹	۱۲/۴۴**	۷/۸۲**	۱۲۹/۹۹**	۰/۸۴**	۰/۲۴**	۰/۶۰**
تستر	۹	۹/۷۷**	۱۳/۷۵**	۸۳/۸۰*	۰/۴۷	۰/۱۶**	۰/۳۵**
لاین×تستر	۸۱	۱۰/۲۵**	۱۲/۱۴**	۱۴۷/۹۳**	۰/۵۱**	۰/۱۵**	۰/۳۴**
تیمار×محیط	۱۱۹	۴/۲۱**	۱/۷۴	۲۸/۹۶	۰/۴۱**	۰/۰۷**	۰/۲۴**
والدین×محیط	۱۹	۴/۵۱*	۱/۳۷	۴۲/۳۲	۰/۲۳	۰/۰۹**	۰/۱۷
(والدین در برابر دورگ)×محیط	۱	۱۴/۴۰*	۰/۴۸	۲۸/۰۹	۰/۹۳	۰/۲۹**	۰/۰۶
دورگ×محیط	۹۹	۴/۰۵**	۱/۸۲	۲۶/۴۱	۰/۴۴**	۰/۰۷**	۰/۲۵**
لاین×محیط	۹	۳/۰۶	۱/۵۱	۶۹/۲۷*	۰/۱۲	۰/۱۰**	۰/۱۳
تستر×محیط	۹	۶/۰۰*	۰/۹۲	۱۹/۵۳	۰/۳۱	۰/۰۸*	۰/۲۲*
لاین×تستر×محیط	۸۱	۳/۹۴*	۱/۹۶	۲۲/۴۱	۰/۴۹**	۰/۰۷**	۰/۲۷**
خطای ادغام‌شده	۱۴۶	۲/۵۷	۲/۴۵	۳۲/۷۴	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۱۰
ضریب تغییرات (٪)		۰/۹۰	۶/۴۶	۴/۰۷	۹/۴۸	۵/۱۷	۹/۱۲

* و **: به ترتیب سطح احتمال معنی‌داری ۵ درصد و ۱ درصد.

جدول ۳- برآورد وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی، نحوه عمل ژن و میانگین درجه غالبیت در شرایط کشت معمول و تأخیری
Table 3. Estimation of broad and narrow sense heritability, gene action and average degree of dominance under normal and delayed planting conditions

صفات	کاشت معمول				کاشت تأخیری			
	وراثت‌پذیری عمومی (٪)	وراثت‌پذیری خصوصی (٪)	نحوه عمل ژن	میانگین درجه غالبیت	وراثت‌پذیری عمومی (٪)	وراثت‌پذیری خصوصی (٪)	نحوه عمل ژن	میانگین درجه غالبیت
تعداد روز تا گلدهی	۸۲/۷۰	۴۸/۹۳	۰/۷۲	۱/۱۷	۸۳/۸۸	۵۴/۶۸	۰/۹۴	۱/۰۳
طول دوره گلدهی	۷۸/۶۱	۳۶/۳۵	۰/۴۳	۱/۵۲	۷۸/۶۱	۳۶/۳۵	۰/۴۳	۱/۵۲
ارتفاع	۷۴/۳۰	۲۹/۰۹	۰/۳۲	۱/۷۶	۷۴/۳۰	۲۹/۰۹	۰/۳۲	۱/۷۶
تعداد شاخه در بوته	۷۳/۶۵	۵۷/۴۲	۱/۷۷	۰/۷۵	۸۳/۰۵	۵۳/۶۹	۰/۹۱	۱/۰۴
وزن هزار دانه	۸۶/۵۹	۵۵/۱۴	۰/۸۸	۱/۰۷	۸۵/۲۴	۶۳/۲۷	۱/۴۴	۰/۸۳
عملکرد دانه	۸۶/۰۵	۵۶/۲۰	۰/۹۴	۱/۰۳	۷۸/۶۵	۶۹/۸۱	۱/۹۶	۰/۷۱

اختلاف زیاد وراثت‌پذیری خصوصی و وراثت‌پذیری عمومی صفات می‌تواند به علت بیشتر بودن سهم اثر غیر افزایشی نسبت به اثر افزایشی باشد. این نتایج نشان داد اثرات غیر افزایشی بویژه فوق غالبیت نقش مهمی در کنترل این صفات دارند. اثرات غیر افزایشی برخلاف اثرات افزایشی ژن‌ها در جمعیت قابل تثبیت نیستند (۲۱). اهمیت اثرات غیر افزایشی ژن‌ها در تعیین صفات زراعی و مورفولوژیک کلزا در بسیاری از مطالعات پیشین گزارش شده است (۱،۲۳،۳۲،۳۳). علاوه بر این برخی مطالعات نقشه‌یابی صفات کمی نشانگر اهمیت اثرات اپیستازی در تعیین صفات کلزا می‌باشد (۱۲،۲۴،۳۹). برآورد بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی لاین‌ها و تسترها برای صفات مورد مطالعه در شرایط کاشت معمول و تأخیری در جدول ۴ آورده شده است. لاین‌های L10، L2 و T3 دارای ترکیب‌پذیری منفی برای صفت تعداد روز تا گلدهی بودند. کاهش تعداد روز تا شروع گلدهی در ارقام کلزا از اهداف عمده اصلاحی آن به شمار می‌رود، بنابراین می‌توان در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور کاهش روز تا شروع گلدهی در ژنوتیپ‌های کلزا بویژه ارقام بهاره کلزا برای فرار از حمله آفت‌های مهم کلزا مانند سوسک گرده‌خوار و شته مومی کلم و نیز گرمای انتهای فصل در اقلیم‌های گرم شمال و گرم جنوب کشور از والدهای دارای اثر ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار برای این صفات استفاده کرد. تستر T1 و لاین T8 دارای بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی برای افزایش طول دوره گلدهی بود. تغییر آب و هوا و افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های اخیر با رشد فزاینده‌ای روبرو بوده است به‌طوری که در ۵۰ سال اخیر دمای زمین به ازای هر ده سال به میزان ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (۸). افزایش دما باعث کاهش طول دوره گلدهی و قدرت زنده‌مانی دانه گرده در تمام گونه‌های گیاهی می‌شود (۱۹). علاوه بر این کشت تأخیری باعث کاهش طول دوره گلدهی کلزا می‌شود. طول

دوره گلدهی کوتاه‌تر، تولید اسیمیلات‌ها، تعداد خورجین و مرحله پر شدن دانه را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد بنابراین در چنین شرایطی افزایش طول دوره گلدهی صفتی مطلوب خواهد بود و تا حدودی می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود (۷،۳۵،۴۵). در هر دو شرایط اجرای آزمایش، تنها لاین L7 به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده عمومی در جهت کاهش ارتفاع بوته شناخته شد. بنابراین می‌توان در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور کاهش ارتفاع بوته از این والد استفاده کرد. کاهش دادن ارتفاع بوته در کلزا همراه با افزایش میزان تحمل خوابیدگی ارقام و در نتیجه بهبود شاخص برداشت از اهداف مهم اصلاحی کلزا محسوب می‌شود. در شرایط تاریخ کاشت معمول T10 و L10 و در شرایط تاریخ کاشت تأخیری L4، L7 و L10 به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده عمومی در جهت افزایش عملکرد دانه شناخته شدند. استفاده از لاین‌ها و تسترهایی که دارای اثر ترکیب‌پذیری عمومی بالا هستند می‌تواند سبب افزایش سهم اثر افزایشی ژن‌ها شده و بازده گزینش را بالا ببرد. برآورد بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی دورگ‌ها از لحاظ صفات مورد بررسی در شرایط کاشت معمول و تأخیری در جدول ۵ نشان داده شده است. در شرایط تاریخ کاشت معمول، دورگ‌های T4×L1، T2×L4، T3×L4 و T1×L5 و در شرایط تاریخ کاشت تأخیری، چهار دورگ T10×L3، T8×L8، T3×L5 و T7×L3 بهترین ترکیب‌شونده خصوصی برای کاهش روز تا شروع گلدهی بودند. دورگ T1×L5 با داشتن والدین با تیپ رشد زمستانی در برنامه‌های اصلاحی اقلیم سرد و دورگ T7×L3 با داشتن هر دو نوع تیپ والدینی زمستانی و بهاری در برنامه‌های اصلاحی خاص اقلیم‌های معتدل سرد و گرم قابل استفاده هستند. دورگ‌های T9×L3، T1×L7، T5×L2 و T9×L6 دارای بیشترین ترکیب‌پذیری برای افزایش طول دوره گلدهی در هر دو شرایط کاشت معمول و تأخیری بودند. دورگ‌های T4×L2، T2×L4، T10×L5 و T8×L8 به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی از لحاظ کاهش ارتفاع بوته در هر دو شرایط آزمایش شناخته شدند. کاهش ارتفاع گیاه و یا تیپ گیاهی متراکم به دلیل عدم ورس، قابلیت افزایش تراکم گیاهی و عملکرد از اهمیت خاصی برخوردار است (۳۰،۴۴).

در شرایط تاریخ کاشت معمول چهار دورگ T3×L9، T7×L7، T8×L7 و T6×L4 و در شرایط تاریخ کاشت تأخیری چهار دورگ T1×L8،T7×L6، T3×L5 و T7×L7 بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی در جهت افزایش عملکرد دانه بودند. دورگ T9×L1 در شرایط تاریخ کاشت نرمال و دورگ T1×L7 در شرایط کشت تأخیری بهترین ترکیب شونده‌های خصوصی جهت افزایش وزن هزار دانه بودند.

عملکرد دانه صفتی چندوجهی است که توسط بسیاری از صفات دیگر با اثرات مثبت و منفی بر روی عملکرد مشخص می‌شود. صفات تعداد خورجین در بوته، طول خورجین و وزن هزار دانه مهم‌ترین صفاتی هستند که بر روی عملکرد دانه تأثیر مستقیم دارند (۴۳). همچنین برخی مطالعات پیشین نشان می‌دهد صفت وزن هزار دانه نسبت به دیگر اجزای عملکرد بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است و عوامل محیطی تأثیر چندانی در تعیین این صفت ندارند (۱۱،۳۸).

در اغلب دورگ‌ها، بین ترکیب‌پذیری خصوصی با ترکیب‌پذیری عمومی ارتباط خاصی مشاهده نشد و اغلب دورگ‌ها با ترکیب‌پذیری خصوصی بالا فاقد حداقل یک والد با ترکیب‌پذیری عمومی بالا بودند. این نتایج نشان داد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی دو جنبه متفاوت از عوامل ژنتیکی را اندازه‌گیری می‌کنند؛ به عبارت دیگر ترکیب‌پذیری عمومی ناشی از اثرات افزایشی ژن‌ها است در حالی که ترکیب‌پذیری خصوصی به دلیل وجود اثرات غیر افزایشی (غالبیت، فوق غالبیت و اپیستازی) است (۳).

جدول ۴- بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی برای صفات مورد بررسی در شرایط کاشت معمول و کاشت تأخیری

Table 4. The best general combiner for studied traits under normal and delayed planting conditions

صفات	جهت	کاشت معمول	کاشت تأخیری
تعداد روز تا گلدهی	افزایش	L4 (۱/۲۱۴**).	T6 (۱/۳۳۳*), L4 (۲/۱۷۵*).
	کاهش	L10 (−۱/۱۶۰*), L2 (−۱/۱۴۰*).	T3 (−۱/۱۵۶*), L2 (−۱/۲۳۴**).
طول دوره گلدهی	افزایش	T1 (۱/۴۰۳**), L8 (۱/۰۹۳**).	T1 (۱/۴۰۳**), L8 (۱/۰۹۳**).
	کاهش	T5 (−۱/۷۸۸**), L10 (−۰/۷۵۱*).	T5 (−۱/۷۸۸**), L10 (−۰/۷۵۱*).
ارتفاع	افزایش	T7 (۲/۸۲۹*), T8 (۲/۵۳۳*), L3 (۳/۶۹۷**).	T7 (۲/۸۲۹*), T8 (۲/۵۳۳*), L3 (۳/۶۹۷**).
	کاهش	L7 (−۴/۸۸۴**).	L7 (−۴/۸۸۴**).
تعداد شاخه در بوته	افزایش	T3 (۰/۴۱۵*).	L3 (۰/۲۴۹*), L4 (۰/۲۵۷*), L5 (۰/۲۰۴*).
	کاهش	T7 (−۰/۴۱۷*), L9 (−۰/۳۹۹*), L10 (−۰/۴۴۷*).	L1 (−۰/۲۳۱*), L7 (−۰/۲۲۲*).
وزن هزار دانه	افزایش	T4 (۰/۰۹۹*), T10 (۰/۱۳۳**), L1 (۰/۱۰۳*).	T2 (۰/۱۹۶**).
	کاهش	T3 (−۰/۱۴۹**), T7 (−۰/۱۰۸*), L6 (−۰/۱۸۴**).	T7 (−۰/۱۸۸*), L6 (−۰/۳۶۲**).
عملکرد دانه	افزایش	T10 (۰/۲۵۸*), L10 (۰/۴۲۰**).	L4 (۰/۲۰۷**), L7 (۰/۱۸۴*), L10 (۰/۳۲۴**).
	کاهش	T4 (−۰/۴۸۴**), L9 (−۰/۲۸۴*).	T1 (−۰/۱۹۳*), L2 (−۰/۲۴۴**), L9 (−۰/۲۳۰**).

* و **: به ترتیب سطح احتمال معنی‌داری ۵ درصد و ۱ درصد.

جدول ۵- بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای صفات مورد بررسی در شرایط کاشت معمول و کاشت تأخیری

Table 5. The best specific combiner for studied traits under normal and delayed planting conditions

صفات	جهت	کاشت معمول	کاشت تأخیری
تعداد روز تا گلدهی	افزایش	T1×L2 (۵/۳۱۵**), T9×L1 (۴/۹۳۶**), T8×L10 (۴/۷۷۸**), T5×L7 (۴/۵۹۹**).	T3×L2 (۸/۰۷۵**), T6×L3 (۷/۶۹۶**), T1×L9 (۶/۱۹۸**), T4×L5 (۵/۵۷۲**).
	کاهش	T4×L1 (−۵/۹۸۰**), T2×L4 (−۳/۷۹۱**), T3×L4 (−۳/۶۹۶**), T1×L5 (−۳/۱۰۶**).	T10×L3 (−۵/۰۷۹**), T8×L8 (−۵/۴۴۰**), T3×L5 (−۴/۶۶۲**), T7×L3 (−۴/۱۲۵*).
طول دوره گلدهی	افزایش	T9×L3 (۸/۰۴۳**), T1×L7 (۷/۴۳۶**), T5×L2 (۷/۷۰۵**), T9×L6 (۶/۶۹۵**).	T9×L3 (۸/۰۴۳**), T1×L7 (۷/۴۳۶**), T5×L2 (۷/۷۰۵**), T9×L6 (۶/۶۹۵**).
	کاهش	T5×L8 (−۱۱/۴۶۵**), T1×L9 (−۱۲/۴۹۷**), T2×L7 (−۹/۸۳۵**), T4×L10 (−۸/۶۲۲**).	T5×L8 (−۱۱/۴۶۵**),T1×L9 (−۱۲/۴۹۷**), T2×L7 (−۹/۸۳۵**), T4×L10 (−۸/۶۲۲**).
ارتفاع	افزایش	T3×L1 (۴۲/۴۳۳**), T8×L4 (۲۹/۴۹۳**), T4×L8 (۲۵/۰۸۰**), T4×L7 (۲۴/۵۳۱**).	T3×L1 (۴۲/۴۳۳**), T8×L4 (۲۹/۴۹۳**), T4×L8 (۲۵/۰۸۰**), T4×L7 (۲۴/۵۳۱**).
	کاهش	T4×L2 (−۳۶/۰۱۹**),T2×L4 (−۳۵/۷۵۶**),T10×L5 (−۳۳/۷۵۶**), T8×L8 (−۳۰/۲۸۶**).	T4×L2 (−۳۶/۰۱۹**), T2×L4 (−۳۵/۷۵۶**), T10×L5 (−۳۳/۷۵۶**), T8×L8 (−۳۰/۲۸۶**).
تعداد شاخه در بوته	افزایش	T1×L1 (۰/۸۵۸**), T3×L3 (۲/۰۰۱**), T2×L5 (۱/۸۰۵**), T4×L7 (۰/۸۸۰**).	T10×L6 (۲/۲۹۳**), T3×L8 (۲/۲۲۱**),T4×L2 (۱/۸۹۷**), T6×L3 (۱/۳۵۷*).
	کاهش	T1×L6 (−۱/۱۸۱**), T3×L6 (−۰/۶۸۸*), T10×L4 (−۰/۶۷۷*), T4×L3 (−۰/۷۱۱*).	T10×L5 (−۱/۵۸۹*), T3×L6 (−۱/۳۱۳*).
وزن هزار دانه	افزایش	T7×L10 (۰/۶۰۶*), T1×L7 (۰/۶۰۸*), T7×L6 (۰/۵۷۹*), T2×L6 (۰/۵۷۶*).	T9×L1 (۰/۶۵۸**), T2×L5 (۰/۴۹۷**), T3×L6 (۰/۴۸۰**), T9×L8 (۰/۴۷۹**).
	کاهش	T6×L3 (−۰/۷۶۹**), T7×L7 (−۰/۷۳۲**), T7×L9 (−۰/۷۳۸**), T1×L6 (−۰/۶۵۱**).	T2×L3 (−۰/۶۸۶**), T10×L10 (−۰/۵۱۶**), T3×L7 (−۰/۴۵۳**), T10×L8 (−۰/۴۵۸**).
عملکرد دانه	افزایش	T1×L8 (۰/۹۲۳**), T7×L6 (۰/۹۸۳**), T3×L5 (۰/۷۵۳**), T7×L7 (۰/۵۷۱*).	T3×L9 (۱/۵۷۴**), T7×L7 (۱/۴۹۱**), T8×L7 (۱/۲۷۵**), T6×L4 (۱/۲۲۰**).
	کاهش	T7×L9 (−۰/۹۶۵**),T3×L6 (−۰/۹۰۷**), T9×L2 (−۰/۷۶۳**), T1×L6 (−۰/۷۲۳**).	T2×L2 (−۱/۲۵۰**), T3×L10 (−۱/۱۸۰*), T9×L7 (−۱/۱۱۰**), T9×L4 (−۰/۸۶۷*).

* و **: به ترتیب سطح احتمال معنی‌داری ۵ درصد و ۱ درصد.

هتروزیس پدیده‌ای معمول در کشاورزی است و یکی از استراتژی‌های مهم جهت افزایش عملکرد و تأمین امنیت غذایی جهان می‌باشد (۳۷). برآورد هتروزیس والد برتر دورگ‌ها در شرایط کاشت معمول و تأخیری در جدول ۶ نشان داده شده است. در شرایط تاریخ کاشت معمول، دورگ‌های T9×L9، T2×L6، T9×L2 و T6×L9 و در شرایط تاریخ کاشت تأخیری دورگ‌های T9×L2 و T7×L2 از بیشترین هتروزیس معنی‌دار در جهت کاهش تعداد روز تا گلدهی برخوردار بودند. در هر شرایط کاشت، چهار دورگ T8×L1، T2×L1، T1×L7 و T4×L8 دارای بیشترین هتروزیس معنی‌دار برای افزایش طول دوره گلدهی بودند.

جدول ۶- بیشترین مقدار هتروزیس نسبت به والد برتر در شرایط کاشت معمول و تأخیری

Table 6. The maximum heterobiltiosis under normal and delayed planting conditions

صفات	جهت	کاشت معمول	کاشت تأخیری
تعداد روز تا گلدهی	افزایش	T9×L1 (۴/۸۵۵*), T8×L10 (۴/۸۵۸*).	----
	کاهش	T9×L9 (−۴/۵۳۶*), T2×L6 (−۴/۵۸۰**),T9×L2 (−۴/۳۴۴*), T6×L9 (−۴/۷۸۸*).	T9×L2 (−۶/۴۰۹*), T7×L2 (−۴/۹۷۲*).
طول دوره گلدهی	افزایش	T8×L1 (۱۴/۰۱۳**), T2×L1 (۸/۹۰۶**), T1×L7 (۹/۵۴۸**), T4×L8 (۷/۲۵۸**).	T8×L1 (۱۴/۰۱۳**), T2×L1 (۸/۹۰۶**), T1×L7 (۹/۵۴۸**), T4×L8 (۷/۲۵۸**).
	کاهش	T5×L8 (−۳۴/۵۹۸**),T9×L10 (−۳۱/۱۷۲**),T2×L7 (−۳۰/۱۸۸**), T5×L3 (−۲۷/۷۰۸**).	T5×L8 (−۳۴/۵۹۸**),T9×L10 (−۳۱/۱۷۲**),T2×L7 (−۳۰/۱۸۸**), T5×L3 (−۲۷/۷۰۸**).
ارتفاع	افزایش	T4×L5 (۲۱/۳۰۵**), T9×L8 (۳۰/۵۷۴**), T7×L8 (۲۳/۴۷۳**), T4×L8 (۱۹/۶۹۸**).	T4×L5 (۲۱/۳۰۵**), T9×L8 (۳۰/۵۷۴**), T7×L8 (۲۳/۴۷۳**), T4×L8 (۱۹/۶۹۸**).
	کاهش	T3×L4 (−۱۹/۲۵۴**), T2×L4 (−۲۴/۱۱۰**), T3×L7 (−۱۷/۹۴۳**), T7×L7 (−۱۶/۰۴۷**).	T3×L4 (−۱۹/۲۵۴**), T2×L4 (−۲۴/۱۱۰**), T3×L7 (−۱۷/۹۴۳**), T7×L7 (−۱۶/۰۴۷**).
تعداد شاخه در بوته	افزایش	T5×L4 (۳۸/۳۳۳**), T3×L3 (۵۸/۳۱۴**), T2×L5 (۳۰/۱۷۴**), T8×L4 (۲۷/۶۱۹**).	T3×L8 (۵۳/۱۰۳**), T3×L7 (۲۸/۵۷۱**), T10×L3 (۲۹/۷۸۷**), T6×L3 (۳۶/۰۵۴**).
	کاهش	T1×L6 (−۳۷/۷۹۰**), T3×L6 (−۲۶/۷۳۸**), T2×L7 (−۲۳/۷۹۱**), T5×L6 (−۲۳/۵۲۹**).	T7×L9 (−۳۷/۷۲۲**), T4×L6 (−۳۰/۳۰۳**), T7×L4 (−۳۲/۹۱۱**), T7×L8 (−۳۵/۹۴۹**).
وزن هزار دانه	افزایش	T8×L3 (۱۱/۵۵۹**), T2×L5 (۱۰/۰۷۶**), T1×L7 (۱۲/۸۲۷**), T3×L5 (۹/۸۶۳**).	T3×L5 (۱۶/۲۲۳**), T7×L4 (۱۲/۸۲۱**), T8×L3 (۹/۰۶۹**), T2×L5 (۹/۶۹۳**).
	کاهش	T3×L6 (−۳۶/۳۴۱**), T1×L6 (−۳۶/۰۹۰**), T7×L9 (−۳۶/۰۱۰**), T6×L3 (−۳۳/۸۱۰**).	T7×L8 (−۳۰/۶۹۷**), T3×L8 (−۲۹/۵۷۶**), T1×L8 (−۲۸/۰۶۰**), T2×L8 (−۲۴/۸۵۹**).
عملکرد دانه	افزایش	T3×L5 (۴۰/۶۷۲**), T7×L6 (۳۷/۹۵۶**), T7×L7 (۳۴/۳۰۷**), T5×L10 (۳۳/۶۶۰**).	T9×L2 (۵۶/۳۰۵**), T3×L2 (۵۲/۵۰۷**), T3×L9 (۴۳/۲۲۳**), T3×L5 (۲۹/۰۳۲**).
	کاهش	T9×L2 (−۳۳/۰۷۴**),T6×L3 (−۳۰/۱۲۴**), T7×L9 (−۳۶/۸۶۱**), T10×L6 (−۲۷/۷۲۹**).	T5×L2 (−۳۳/۷۵۷**), T5×L1 (−۳۱/۲۱۶**), T5×L9 (−۳۱/۰۳۴**), T5×L7 (−۲۸/۴۹۷**).

* و **: به ترتیب سطح احتمال معنی‌داری ۵ درصد و ۱ درصد.

دورگ‌های T3×L4، T2×L4، T3×L7 و T7×L7 بیشترین هتروزیس منفی برای صفت ارتفاع بوته در هر دو شرایط آزمایش داشتند. در شرایط تاریخ کاشت معمول دورگ‌های T3×L7، T3×L8، T10×L3 و T6×L3 و در شرایط تاریخ کاشت تأخیری دورگ‌های T5×L4، T3×L3، T2×L5 و T8×L4 به‌عنوان ترکیباتی با بیشترین هتروزیس والد برتر مثبت از لحاظ تعداد شاخه در بوته شناخته شدند. دورگ‌های T3×L5، T7×L4، T8×L3 و T2×L5 در شرایط تاریخ کاشت معمول و دورگ‌های T8×L3، T2×L5، T1×L7،T2×L5 و T3×L5 در شرایط تاریخ کاشت تأخیری به‌عنوان ترکیباتی با بیشترین مقدار هتروزیس والد برتر از لحاظ وزن هزار دانه بودند. سه دورگ T8×L3، T2×L5 و T3×L5 در هر دو شرایط کاشت معمول و تأخیری از هتروزیس والد برتر مثبت و معنی‌داری برای وزن هزار دانه برخوردار بودند. در شرایط تاریخ کاشت معمول چهار دورگ T9×L2، T3×L2، T3×L9 و T3×L5 و در شرایط تاریخ کاشت تأخیری چهار دورگ T3×L5،T7×L6، T5×L10 و T7×L7 از بیشترین مقدار هتروزیس والد برتر مثبت برای عملکرد دانه برخوردار بودند. کاربرد هتروزیس جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی کلزا در بررسی‌های مختلف گزارش شده است (۲،۲۵،۳۴). با این حال دامنه تغییرات میزان هتروزیس کلزا در مطالعات پیشین بسیار متغیر بوده است. به‌طور میانگین در هیبریدهای کلزای بهاره میزان هتروزیس ۳۰ درصد (با دامنه تغییرات ۲۰ تا ۵۰ درصد) گزارش شده است در حالی که در هیبریدهای کلزای زمستانه این مقدار در حدود ۵۰ درصد (با دامنه تغییرات ۲۰ تا ۸۰ درصد) می‌باشد (۳۲). میزان هتروزیس (نسبت به میانگین والدین) عملکرد دانه کلزا به‌طور میانگین برای ارقام بهاره ۲۷ درصد و برای ارقام زمستانه ۳۰ درصد گزارش شده است برخی مطالعات نشان داد افزایش عملکرد در لاین‌های اینبرد ۱/۹ تا ۳/۵ برابر سریع‌تر از هیبریدها بوده است. این امر به دلیل این است که تمرکز برای ایجاد لاین‌های اینبرد قوی، سالم، باکیفیت و مقاوم به تنش‌ها بسیار زیاده بوده است (۴۲). بنابراین برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی تلاش هم‌زمان برای افزایش سطح هتروزیس و ایجاد لاین‌های اینبرد قوی و پر عملکرد امری ضروری برای تأمین امنیت غذایی است (۱۴).

تفاوت میانگین صفات ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر تفاوت معنی‌داری بود و تأثیر دو محیط (تاریخ کاشت نرمال و تأخیری) بر روی صفات مورد بررسی متفاوت بود. برآورد کمتر از واحد برای نسبت میانگین مربعات ترکیب‌پذیری عمومی به میانگین مربعات ترکیب‌پذیری خصوصی صفات مورد بررسی و مقدار متوسط وراثت‌پذیری خصوصی نشان داد که عمل غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی آن‌ها نقش بیشتری دارد. به دلیل اینکه عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین صفات اصلاحی کلزا است لذا دورگ‌های T9×L2، T3×L2، T3×L9 و T3×L5 در شرایط تاریخ کاشت و معمول و چهار دورگ T3×L5، T7×L6، T5×L10 و T7×L7 در شرایط کاشت تأخیری از بیشترین مقدار هتروزیس برای عملکرد دانه برخوردار بودند و پتانسیل استفاده در برنامه‌های اصلاحی با هدف افزایش عملکرد را دارند.

منابع

1. Ali, R.M., I.A. Khalil, N.U. Kha, S.U. Khan, M.U. Rehman and G.G. Afridi. 2014. Genetic analysis of yield and yield related attributes in Brassica napus. Pure and Applied Biology, 3(4): 175-187.
2. Amiri-Oghan, H., M. Fotokian, F. Javidfar and B. Alizadeh. 2012. Genetic analysis of grain yield, days to flowering and maturity in oilseed rape (*Brassica napus* L.) using diallel crosses. International Journal of Plant Production, 3(2): 19-26.
3. Andarkhor, S.A., N. Mastibege and V. Rameeh. 2011. Combining ability of agronomic traits in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) using line×tester analysis. International Journal of Biology, 4(1): 89-95.
4. Angadi, S., H. Cutforth, B. McConkey and Y. Gan. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. Crop Science, 43(4): 1358-1366.
5. Asgari, A. and A. Moradie-dalini. 2008. Evaluation, yield components and vegetative characters of rapeseed cultivars in different planting date. Seed and Plant Journal, 23: 419-430.
6. 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: 201-217.
7. 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(1): 201-217.
8. Craufurd, P. and T. Wheeler. 2009. Climate change and the flowering time of annual crops. Journal of Experimental Botany, 60(9): 2529-2539.
9. Dehdashti, S., A. Soleimani and B. Majd-Nasiri. 2008. Delayed planting effects on physiological indices of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Research in Agriculture Science, 4(2): 152-163.
10. Delkhosh, B., A. Shirani Rad, Z. Bitarafan and G. Mousavi nejad. 2012. Drought stress and sowing date effects on yield and some grain traits of rapeseed cultivars. Advances in Environmental Biology, 6(1): 49-55.
11. Ding, G., Z. Zhao, Y. Liao, Y. Hu, L. Shi, Y. Long and F. Xu. 2012. Quantitative trait loci for seed yield and yield-related traits, and their responses to reduced phosphorus supply in Brassica Napus Annals of Botany, 109(4): 747-759.
12. Dong, D.K., J.S. Cao, K. Shi and L.C. Liu. 2007. Overdominance and epistasis are important for the genetic basis of heterosis in Brassica rapa Horticulture Science, 42(5): 1207-1211.

13. Farré, I., M. Robertson, G. Walton and S. Asseng. 2002. Simulating phenology and yield response of canola to sowing date in Western Australia using the APSIM model. Australian Journal of Agricultural Research, 53(10): 1155-1164.
14. Fu, D., M. Xiao, A. Hayward, Y. Fu, G. Liu, G. Jiang and H. Zhang. 2014. Utilization of crop heterosis: a review. Euphytica, 197(2): 161-173.
15. Gautam, S.C. and M. Chauhan. 2016. Combining ability of plant height and yield components in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) under salt affected soil using line×tester analysis. Journal of Agri Search, 3(2): 93-100.
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. Guy, C., F. Kaplan, J. Kopka, J. Selbig and D.K. Hincha. 2008. Metabolomics of temperature stress. Physiologia plantarum, 132(2): 220-235.
18. Hallauer, A.R., M.J. Carena and J.D. Miranda Filho. 2010. Testers and combining ability, In: Quantitative genetics in maize breeding. pp: 383-423, Springer.
19. Hatfield, J.L. and J.H. Prueger. 2015. Temperature extremes: effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10: 4-10.
20. Huang, Z., P. Laosuwan, T. Machikowa and Z. Chen. 2010. Combining ability for seed yield and other characters in rapeseed. Suranaree Journal of Science and Technology, 17: 39-47.
21. Iqbal, M., A. Navabi, D.F. Salmon, R.C. Yang, B.M. Murdoch, S.S. Moore and D. Spaner. 2007. Genetic analysis of flowering and maturity time in high latitude spring wheat. Euphytica, 154(1-2): 207-218.
22. Jeena, A. and F. Sheikh. 2003. Genetic divergence analysis in gobhi sarson. Journal of oilseeds research, 20: 210-212.
23. Kang, S.A., F. Saeed and M. Riaz. 2013. Breeding for improving the seed yield and yield contributing traits in Brassica napus L. By using line×tester analysis Journal of Plant Breeding and Genetics, 1(3): 111-116.
24. Li, Y., X. Zhang, C. Ma, J. Shen, Q. Chen, T. Wang, T. Fu and J. Tu. 2012. QTL and epistatic analyses of heterosis for seed yield and three yield component traits using molecular markers in rapeseed (*Brassica napus* L.). Russian Journal of Genetics, 48(10): 1001-1008.
25. Nassimi, A.W., A. Raziuddin Sardar and A. Naushad. 2006. Study on heterosis in agronomic characters of rapeseed (*Brassica napus* L.) using diallel. Journal of Agronomy, 5(3): 505-508.
26. Norton, G., P. Bilsborrow and P. Shipway. 1991. Comparative physiology of divergent types of winter rapeseed. Proc. Int. Canola Conf. Saskatoon, Canada.
27. Ozer, H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars European Journal of Agronomy, 19(3): 453-463.
28. Pasban Eslam, B. 2011. Study of possibility of delayed planting of oilseed rape (Brassica napus L.) in east Azerbaijan in Iran. Seed and plant production journal, 27(3): 269-284.
29. Patterson, H. and E. Williams. 1976. A new class of resolvable incomplete block designs. Biometrika, 63(1): 83-92.
30. Peng, J., D.E. Richards, N.M. Hartley, G.P. Murphy, K.M. Devos, J.E. Flintham, J. Beales, L.J. Fish, A.J. Worland and F. Pelica. 1999. 'Green revolution'genes encode mutant gibberellin response modulators. Nature, 400(6741): 256-261.
31. Pritchard, F., H. Eagles, R. Norton, P. Salisbury and M. Nicolas. 2000. Environmental effects on seed composition of Victorian canola. Australian Journal of Experimental Agriculture, 40(5): 679-685.
32. Radoev, M., H.C. Becker and W. Ecke. 2008. Genetic analysis of heterosis for yield and yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.) by quantitative trait locus mapping. Genetics, 179(3): 1547-1558.
33. Rameeh, V. 2012. Combining ability analysis of plant height and yield components in spring type of rapeseed varieties (*Brassica napus* L.) using line×tester analysis. International journal of agriculture and forestry, 2(1): 58-62.
34. Rameh, V. 2009. Estimation of heritability and heterosis for agronomic traits and oil content in rapeseed spring varieties Journal of Crop Breeding, 1(4): 1-13.
35. Robertson, M., J. Holland and R. Bambach. 2004. Response of canola and indian mustard to sowing date in the grain belt of north-eastern australia. Australian Journal of Experimental Agriculture, 44(1): 43-52.
36. 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.
37. Shen, J.-X., T.D. Fu, G.S. Yang, J.X. Tu and C.Z. Ma. 2006. Prediction of heterosis using QTLs for yield traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). Euphytica, 151(2): 165-171.
38. Shi, J., R. Li, D. Qiu, C. Jiang, Y. Long, C. Morgan, I. Bancroft, J. Zhao and J. Meng. 2009. Unraveling the complex trait of crop yield with quantitative trait loci mapping in Brassica napus. Genetics, 182(3): 851-861.

39. Shi, J., R. Li, J. Zou, Y. Long and J. Meng. 2011. A dynamic and complex network regulates the heterosis of yield-correlated traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). PLoS One, 6(7): e21645.
40. Sincik, M., T.A. Goksoy and M.Z. Turan. 2011. The heterosis and combining ability of diallel crosses of rapeseed inbred lines. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 39(2): 242-248.
41. 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 Journal of Agronomy and Crop Science, 194(3): 225-236.
42. Troyer, A.F. and E.J. Wellin. 2009. Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds. Crop Science, 49(6): 1969-1976.
43. Tuncturk, M. and V. Çiftçi. 2007. Relationships between yield and some yield components in rapeseed (Brassica napus ssp. oleifera L.) cultivars by using correlation and path analysis. Pakistan Journal of Botany, 39(1): 81-84.
44. Vanneste, S. and J. Friml. 2009. Auxin: a trigger for change in plant development. Cell, 136(6): 1005-1016.
45. Wang, S., E. Wang, F. Wang and L. Tang. 2012. Phenological development and grain yield of canola as affected by sowing date and climate variation in the Yangtze River Basin of China. Crop and Pasture Science, 63(5): 478-488.
46. Yadav, S.K. 2010. Cold stress tolerance mechanisms in plants: A review. Agronomy for sustainable development, 30(3): 515-527.
47. Ze-su, H., L. Paisan, M. Thitiporn, C. Ze-hui, D. Wen-dong, T. Rong and L. Dezhen. 2012. Analysis on combining ability for characters of male sterile lines in rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of northeast agricultural university, 19(3): 28-37.

Genetic Analysis of Yield and some Important Traits of Oilseed Rape under Noraml and Delayed Planting Conditions

Hassan Amiri Oghan[1], Mohammad Moghaddam Vahed[2], Reza Ataei[3] and Majid Gholamhosseini[3]

1- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agriculture Research, Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: amirioghan2014@gmail.com)
2- Professor, Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agriculture Research, Education and Extension (AREEO), Karaj, Iran
Received: July 16, 2017 Accepted: December 2, 2017

Abstract

Development of high yielded varieties is important to balance between production rates and grewing food needs of human population. For genetic analysis of yield and some important traits in oilseed rape (*Brassica napus* L.), We conducted line×tester analysis with ten lines and ten testers (three winter parents and seven spring parents). First generation hybrids as well as 20 parents (120 genotypes) were cultivated as a alpha lattice design with two replications under two different conditions (normal and delayed planting date) and days to flowering, flowering duration, plant height, number of primary branchs in plant, thousand seed weight and yield were studied. The results showed that the difference between genotypes is significant and the environment had a different effect on genotypes. High levels of broad sense heritability (from 73.65% for number of primary branches in plant to 87.65% for grain yield) showed that the genetic variance was more than environmental effect. Estimation of less than unit for the mean squares of the general combining ability to the mean squares of thespecific combining ability ratio and low to moderate value of narrow sense heritability (from 29% for plant height to 70% for grain yield) showed that non-additive variance is the major factor in controling of studied traits. The spscific combining ability of hybrids and hetero estimation showed that introduced hybrids in this study could be successfully used in breeding programs and improve the oilseed rape traits. The T9 × L2, T3 × L2, T3 × L9 and T3 × L5 hybrids in normal condition and T3 × L5, T7 × L6, T5 × L10 and T7 × L7 in delayed planting conditions with maximum heterosis for yield were potential hybrids for using in breeding programs for increased yield.

Keywords: Combining Ability, Heterosis, Line×Tester, Oilseed rape