

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(1), 65-76
<http://plantproduction.scu.ac.ir//>


ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Study of Silique Shattering Tolerance Genetic and Related Traits in Winter Oilseed Rape Genotypes Using Diallel Cross Method

Mostafa Eidi Kohnaki^{1*}, Ghaffar Kiany², Bahram Alizadeh³, Ghorban Ali Nematzadeh⁴, Hassan Amiri-Oghan⁵

1. *Corresponding Author: Ph.D. Student of Plant Breeding, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Crop Sciences, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, Iran (m.kohnaki@gmail.com)
2. Associate Professor, Departments of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4. Professor, Departments of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
5. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Citation: Eidi Kohnaki, M., Kiany, Gh., Alizadeh, B., Nematzadeh, Gh. A., & Amiri-Oghan, H. (2021). Study of silique shattering tolerance genetic and related traits in winter oilseed rape genotypes using diallel cross method. *Plant Productions*, 44(1), 65-76.

 10.22055/ppd.2019.28332.1714

Received: 25 January, 2019

Accepted: 25 September, 2019

Abstract

Background and Objectives

Although the opening of the silique is a valuable mechanism for the distribution of seeds in nature, it is also a significant problem in oilseed rape cultivation. Seed shedding from siliques at and after maturity is commonly referred to as pod shatter, and it reduces the grain yield of oilseed rape (*Brassica napus*). This factor, also called dehiscence, can cause losses of up to 50% of potential grain yield if harvesting is delayed and in adverse weather conditions. As a general consideration, canola is susceptible to shattering, and there is little genetic diversity associated with silique shattering tolerance in its commercial lines hence, increasing shatter tolerance is an important breeding objective.

Materials and Methods

In the present study, eleven parents were used to generate 55 hybrids. The experiment was carried out as a complete randomized block design with three replications at the seed and



plant improvement institute. Silique Shattering Tolerance Index (SSTI) using Random Impact Test (RIT) and other related traits were measured during 2018. Griffing's model I of method II was used for the analysis of variance and the estimation of genetic parameters. Correlation coefficients for the studied traits and other calculations were performed using the SPSS software and Excel program.

Results

Analysis of variance of genotypes showed high genetic diversity for the studied traits. Similarly, the general and specific combining ability variances were significant for most traits such as grain yield and the silique shattering tolerance index. This indicates the contribution of additive and non-additive effects in the genetic control of these traits. The general heritability of the studied traits was observed in the range of 78.81% to 93.87%. Correlation coefficients of traits showed a positive and significant correlation between silique shattering tolerance index with grain yield and oil content. Moreover, Zarfam and ES Artist with a good performance and silique shattering tolerance index are considered the best general combiners. Okapi×Zarfam, Nafis×ES Artist, Ahmadi×Nafis, Ahmadi×ES Neptune, Zarfam×ES Neptune, Nafis×ES Natalie, and Nima×ES Natalie are recommended as the best specific combinations for mechanized oilseed rape harvest and improvement of the shattering tolerance trait.

Discussion

Low specific heritability of grain yield can be due to the more outstanding contribution of non-additive effects than additive effects. Various research studied variable estimation for general and specific combining ability and other parameters due to the difference in genetic materials and different weather conditions.

Keywords: Combining ability, Diallel, Gene effects, Genotype, Oilseed rape

مطالعه ژنتیک تحمل به ریزش خورجین و صفات مرتبط در ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه با استفاده از روش تلاقی دای آلل

مصطفی عیدی کهنکی^{۱*}، غفار کیانی^۲، بهرام عزیززاده^۳، قربانعلی نعمت‌زاده^۴، حسن امیری اوغان^۵

- ۱- *نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری ژنتیک بیومتری، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران (m.kohnaki@gmail.com)
- ۲- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳- دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۴- استاد، گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۵- استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۵

چکیده

به منظور تجزیه ژنتیکی تحمل به ریزش خورجین در ژنوتیپ‌های کلزای زمستانه، یازده ژنوتیپ ایرانی و خارجی کلزا به صورت "دای آلل یک طرفه" با یکدیگر تلاقی داده شدند. والدین به همراه نتاج F_1 (جمعاً ۶۶ تیمار) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج کشت و شاخص تحمل به ریزش خورجین و برخی از صفات مرتبط اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس ژنوتیپ‌ها تنوع ژنتیکی بالایی را از لحاظ صفات مورد بررسی نشان داد. به همین ترتیب واریانس ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای اکثر صفات از جمله عملکرد دانه و همچنین شاخص تحمل به ریزش خورجین معنی‌دار به دست آمد که مبین سهم اثرات افزایشی و غالبیت ژنی در کنترل ژنتیکی این صفات بود. بنابراین به نظر می‌رسد انتخاب دوره‌ای همراه با آزمون نتاج، روش اصلاحی مناسبی برای بهره‌گیری از هر دو جزء افزایشی و غیرافزایشی باشد. میزان وراثت‌پذیری عمومی صفات بررسی شده در دامنه ۸۷/۸۱-۹۳/۷۸ درصد برآورد شد که بیانگر سهم بالایی واریانس ژنتیکی در کنترل این صفات بود. بررسی همبستگی صفات نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفت شاخص تحمل به ریزش خورجین با صفات عملکرد دانه ($r=0/449$) و میزان روغن ($r=0/313$) وجود دارد. در مجموع والدین Zarfam و ES Artist با عملکرد مطلوب و شاخص تحمل به ریزش بالا به عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی و دورگ‌های Zarfam × Okapi، ES Artist × Nafis، Nafis × Ahmadi، ES Neptune × Ahmadi، ES Neptune × Zarfam، Nima × ES Natalie و Nafis × ES Natalie به عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای برداشت مکانیزه کلزا و بهبود صفت تحمل به ریزش خورجین توصیه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: اثرات ژن، ترکیب‌پذیری، دای آلل، ژنوتیپ، کلزا

بزرگ‌ترین مشکلات زراعت کلزا نیز محسوب می‌شود. ریزش خورجین و دانه در موقع برداشت به‌ویژه در برداشت‌های دیرهنگام باعث وارد شدن خسارت

مقدمه

اگرچه باز شدن خورجین یک سازوکار مفید برای پراکندگی دانه‌ها در طبیعت است درعین حال یکی از

در کلزا توسعه و استفاده از ارقام متحمل به ریزش است (Hossain et al., 2012). با توجه به این که کلزا عموماً حساس به ریزش است و تنوع ژنتیکی کمی در رابطه با تحمل به ریزش در لاین‌های اصلاحی تجاری آن وجود دارد (Roberts et al., 2002; Cardoza and Stewart, 2004)، بر این اساس تلاش در راستای اصلاح وارپته‌های موجود برای افزایش عملکرد و کاهش ریزش در این محصول و به تبع آن افزایش منافع اقتصادی قابل توجه سودمند خواهد بود. محققان از روش‌های مختلفی برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به ریزش خورجین در کلزا استفاده کرده‌اند که مبنای غربالگری برخی از این روش‌ها بر اساس خصوصیات مورفولوژیکی (Morgan et al., 2000; Squires et al., 2003)، بعضی دیگر بر اساس خصوصیات آناتومیکی (Child et al., 1998; Morgan et al., 2003) و برخی نیز بر اساس خصوصیات بیوشیمیایی (Morgan et al., 1998; Child et al., 2003) است، اما سه روش عمده غربالگری برای تحمل به ریزش خورجین در کلزا توسعه یافته است که شامل روش سنتی غربالگری در مزرعه و دو روش آزمایشگاهی شامل آزمون پاندولی سنجش تحمل به ریزش خورجین توسط دستگاه و آزمون ضربه تصادفی است که هر سه این روش‌ها با اندازه‌گیری میزان ریزش خورجین در مزرعه تناسب داشته و از این رو می‌توان از آن‌ها در مراحل مختلف برنامه‌های اصلاحی برای سنجش تحمل به ریزش خورجین استفاده کرد. (Morgan et al., 2000) با انتخاب والدین حساس و متحمل به ریزش خورجین و متعاقب آن انجام تلاقی‌های دای آلل در هفت والد کلزا کنترل ژنتیکی تحمل به ریزش والدین را با انجام غربالگری مزرعه‌ای در نسل F_1 مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که اثرات افزایشی ژن بسیار معنی‌دار است و همچنین ژن‌ها برای افزایش تحمل به ریزش به صورت مغلوب عمل نمودند. (Liu et al., 2016) نیز ترکیب‌پذیری لاین‌های اینبرد و پتانسیل اصلاحی دورگ‌های کلزا را در ارتباط با صفت تحمل به ریزش

به محصول زارعین و تبلیغات منفی برای زراعت کلزا می‌شود (Braatz et al., 2018) و در صورتی که برداشت به تأخیر بیفتد می‌تواند تا ۵۰ درصد عملکرد محصول را کاهش دهد (Price et al., 1996). علاوه بر این دانه‌های کلزای ریخته‌شده، روی زمین باقی می‌مانند (Gulden et al., 2003) و در زراعت بعدی به‌عنوان علف هرز باعث ایجاد مشکلاتی می‌شوند (Wang et al., 2007) و در صورتی که به‌درستی کنترل نشوند می‌توانند تا چندین سال پس از کشت موردنظر باقی بمانند (Jorgensen et al., 2007). در کلزا، تمام دانه‌ها در یک زمان نمی‌رسند خورجین‌هایی که در پایین ساقه تشکیل می‌شوند زودتر از خورجین‌های بالایی می‌رسند از این رو برداشت زود هنگام می‌تواند کیفیت محصول را به علت بذره‌های نارس و کوچک و همچنین درصد بالای کلروفیل کم کند. برداشت دیر هنگام نیز به علت ریزش خورجین‌های پایینی که زودتر رسیده‌اند می‌تواند باعث کاهش عملکرد محصول شود. بنابراین برداشت محصول در زمان مناسب برای به حداقل رساندن تلفات دانه بسیار اهمیت دارد. در روش برداشت دومرحله‌ای که با دست یا دروگر انجام می‌شود زمان برداشت وقتی است که ۴۰ تا ۵۰ درصد دانه خورجین‌های ساقه اصلی به رنگ قهوه‌ای روشن یا سیاه درآمده باشند. اگرچه این روش در کشورهایی مانند کانادا و استرالیا به‌عنوان روشی برای کاهش خسارت ریزش مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، اما افزایش هزینه برداشت و غیریکنواختی دانه‌های برداشت‌شده از مشکلات این روش محسوب می‌شود (Cavalieri et al., 2016; Gulden et al., 2017). علی‌رغم اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی تحمل به ریزش در کلزا در زمان برداشت مطالعات کمی در مورد گسترش و آزادسازی ارقام متحمل صورت گرفته است (Malekshahi et al., 2012) که این غالباً به دلیل کمبود ذخایر ژنتیکی متحمل به ریزش (Roberts et al., 2002) و همچنین عدم وجود روش‌های مؤثر و قابل اطمینان در ارزیابی صفت تحمل به ریزش است. در حال حاضر، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش کنترل ریزش خورجین

مواد و روش‌ها

به منظور برآورد اثرات ژنی، وراثت‌پذیری و ترکیب‌پذیری ۱۱ رقم کلزای زمستانه شامل او کاپی، احمدی، نفیس، نیما، اس ال ام ۰۴۶، طلایه، زرفام، ای اس دانوب، ای اس نپتون، ای اس ناتالی و ای اس آرتیست مطالعه شدند. از بذور پنج نسل سلف شده والدین آزاد کرده‌افشان برای کشت در پاییز ۹۵ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج استفاده شد. در بهار ۹۶ تلاقی‌های ممکن بین واریته‌ها به صورت طرح دای آلل یک‌طرفه انجام گرفت. در تابستان پس از برداشت بذور تلاقی‌ها شامل ۱۱ والد و ۵۵ دورگ F_1 ، بذرهاى مذکور در پاییز ۹۶ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت شد. در این آزمایش شاخص تحمل به ریزش خورجین به همراه صفات مرتبط از قبیل میزان روغن، عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و طول خورجین با انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از مرکز هر کرت اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفتند. اندازه‌گیری درصد روغن با استفاده از روش سوکسله در آزمایشگاه ملی دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. در این مطالعه برای سنجش تحمل به ریزش خورجین از روش آزمون ضربه تصادفی و اندازه‌گیری شاخص تحمل به ریزش خورجین (Silique Shattering Tolerance Index) با اندکی تغییرات استفاده شد (Hu et al., 2012; Peng et al., 2013). بدین ترتیب که در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، ۱۰ بوته از وسط هر کرت برداشت و تعداد ۱۰ خورجین سالم و دست‌نخورده از گل‌آذین اصلی هر بوته گرفته شد و سپس به‌منظور ایجاد یک نمونه مرکب، خورجین‌ها با هم بالک شد. قبل از انجام آزمون به منظور یکسان‌سازی و به تعادل رساندن نمونه‌ها از نظر دمایی و رطوبتی، خورجین‌های برداشت‌شده در آون و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت هشت ساعت قرار داده شد (Liu et al., 2016). برای انجام آزمون ضربه تصادفی پنج تکرار ۲۰ تایی از

خورجین مورد مطالعه قرار دادند و دورگ‌های $8908B \times R1$ و $6098B \times R1$ ، $1015B \times R1$ ، $1019B \times R1$ را با میانگین عملکرد بالا و اثرات ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت به‌عنوان دورگ‌های جدید برای برداشت مکانیزه در مناطق موردنظر توصیه کردند. برآورد همبستگی صفات به‌عنوان یکی از معیارهای مهم گزینش است و زمانی که انتخاب بر اساس دو یا چند صفت به‌طور هم‌زمان و بر مبنای شاخص انتخاب صورت می‌گیرد حائز اهمیت است. (Wang et al., 2007) در بررسی‌های خود گزارش دادند که هر چه صفت طول خورجین کوتاه‌تر باشد شاخص تحمل به ریزش خورجین بیشتر است، اما برخی مانند (Jia et al., 2013) نشان دادند که طول خورجین همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل به ریزش خورجین دارد. اخیراً ارقامی از کلزای هیبرید زمستانه در کشورهای اروپایی اصلاح و آزاد شده‌اند که تحمل قابل توجهی به ریزش دانه و خورجین نشان می‌دهند. به دلیل وابستگی شدید کشور به این محصول غذایی، به‌عنوان نقطه ثقل طرح‌های افزایش تولید دانه‌های روغنی، انجام مطالعات و برنامه‌های اصلاحی کارآمد برای افزایش عملکرد آن به‌منظور افزایش تولید و جلوگیری از واردات و درنهایت خودکفایی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد (Yousefi et al., 2015). از این رو می‌توان با انجام تلاقی و بررسی میزان ترکیب‌پذیری دورگ‌های مختلف و سرانجام گزینش در نسل‌های در حال تفرق این صفت را به ارقام داخلی منتقل نمود، اما قبل از تلاش در راستای انتقال صفات تحمل به ریزش به لاین‌های جدید با صفات زراعی مطلوب این نکته باید موردتوجه قرار گیرد که اساساً این صفات از نظر ژنتیکی به چه نحوی کنترل می‌شوند. لذا ضروری است اساس کنترل ژنتیکی این صفات از طریق تجزیه و تحلیل دای آلل بررسی شود. این اطلاعات در تعیین روش مناسب اصلاحی و همچنین انتخاب والدین دورگ‌های مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی کلزا بسیار حائز اهمیت است.

که در روابط دو، سه و چهار σ_e^2 ، σ_{st}^2 ، σ_g^2 به ترتیب واریانس ترکیب پذیری عمومی، واریانس ترکیب پذیری خصوصی و واریانس خطا M_e ، M_s ، M_g به ترتیب میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی، میانگین مربعات ترکیب پذیری خصوصی و میانگین مربعات خطا است. در روابط پنج و شش h_{bs}^2 و h_{ns}^2 به ترتیب وارث پذیری عمومی و وارث پذیری خصوصی است که در واحد میانگین تیمار محاسبه شده است. همچنین در این روابط σ_A ، σ_D ، MS_e و r به عنوان واریانس افزایشی، واریانس غالبیت، واریانس خطا و تکرار نماد گذاری شده است. برای تعیین سهم واریانس افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مورد مطالعه از تقسیم واریانس ترکیب پذیری عمومی به واریانس ترکیب پذیری خصوصی و سنجش آن با آزمون F به طور تقریب نوع اثرات ژن ها مشخص شد که هر چه این نسبت به یک نزدیک تر باشد نشان دهنده این است که سهم واریانس افزایشی در کنترل این صفت بیشتر است. در این تحقیق همبستگی صفات با استفاده از نرم افزار آماری SPSS (نسخه ۱۶) و سایر محاسبات و برآوردها با استفاده از فرمول نویسی در برنامه Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ ها، تنوع ژنتیکی بالایی را از لحاظ صفات مورد بررسی نشان داد (جدول ۱). از این رو امکان تجزیه ژنتیکی به روش دای آلل و استفاده از این تنوع در گزینش و بهبود صفات در کلزا فراهم شد. مطالعات برخی محققان از قبیل Rameah et al. (2003) و Hashemi et al. (2008) نیز مؤید وجود تنوع ژنتیکی معنی دار بین صفات در کلزا است. واریانس ترکیب پذیری عمومی و خصوصی (جدول ۲) به صورت توأم برای اکثر صفات از جمله عملکرد دانه و همچنین شاخص تحمل به ریزش خورجین معنی دار شد که مبین سهم اثرات افزایشی و غالبیت ژن ها در کنترل ژنتیکی این صفات است. بنابراین انتخاب دوره ای همراه با آزمون نتاج، مناسب ترین روش اصلاحی برای بهره گیری از هر دو جزء افزایشی و غیر افزایشی است. (Rameah et al. (2003)، Amiri Oghan et al. (2003)، Nassimi et al. (2006)

خورجین ها در یک ظرف استوانه ای با قطر داخلی ۱۸ سانتی متر و ارتفاع ۱۲ سانتی متر همراه با شش ساچمه فولادی با قطر ۱۱ میلی متر قرار داده شد. سپس محفظه (ظرف حاوی خورجین و ساچمه) بر روی یک شیکر افقی ثابت شد و برای مدت زمان یک دقیقه با شدت ۲۸۰ دور در دقیقه تکان داده شد. پس از هر تکرار درب محفظه باز شده و تعداد خورجین های آسیب دیده و یا شکسته شده مورد شمارش قرار گرفت و در نهایت شاخص تحمل به ریزش خورجین با استفاده از رابطه ۱ برای هر وارثه مورد محاسبه قرار گرفت.

$$SSRI = \sum_{i=0}^5 (20 - X_i) / 100 \quad (1)$$

که در این رابطه X_i تعداد خورجین های شکسته شده یا آسیب دیده در هر تکرار است.

از روش دوم Griffing (1956) و مدل مخلوط B (ژنوتیپ ثابت و تکرار تصادفی) برای تجزیه واریانس دای آلل و برآورد پارامترهای ژنتیکی از جمله میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی و خصوصی، نسبت میانگین مربعات GCA/SCA، درجه غالبیت و توارث پذیری عمومی و خصوصی استفاده شد. با توجه به صحت پیش فرض های مدل گریفینگ، واریانس افزایشی از طریق دو برابر نمودن واریانس ترکیب پذیری عمومی برآورد شد ($\sigma_A^2 = 2\sigma_g^2$) و واریانس غالبیت نیز از طریق واریانس ترکیب پذیری خصوصی برآورد شد ($\sigma_D^2 = \sigma_s^2$). برای محاسبه سایر پارامترها از روابط زیر استفاده شد.

$$\sigma_g^2 = \frac{1}{n+2} (M_g - M_s) \quad (2)$$

$$\sigma_s^2 = M_s - M_e' \quad (3)$$

$$\sigma_e^2 = M_e' \quad (4)$$

$$h_{ns}^2 = \frac{\sigma_A}{\sigma_A + \sigma_D + \frac{MS_e}{r}} \times 100 \quad (5)$$

$$h_{bs}^2 = \frac{\sigma_A + \sigma_D}{\sigma_A + \sigma_D + \frac{MS_e}{r}} \times 100 \quad (6)$$

Table 1. Analysis of variance of randomized complete block design for traits in winter oilseed rape

S.O.V.	df	Mean squares (MS) for studied traits					
		Number of seeds in silique	1000-Seed weight	Length of silique	Oil contents	Grain yield	Silique shattering tolerance index
Replication	2	49.39**	0.70*	5.62**	3.29 ^{ns}	0.16*	0.03*
Genotype	65	24.20**	0.81**	1.03**	28.13**	0.30**	0.17**
Error	130	6.12	0.16	0.46	7.20	0.05	0.05

*, ** and ns, significant at the 0.05 and 0.01 levels, and Non-significant respectively.

Table 2. Analysis of variance of parental general and hybrid specific combinability for studied traits in oilseed rape

S.O.V.	df	Mean squares (MS) for studied traits					
		Number of seeds in silique	1000-Seed weight	Length of silique	Oil contents	Grain yield	Silique shattering tolerance index
GCA	10	12.41**	0.52**	0.64**	14.06**	0.14**	0.095**
SCA	55	7.28**	0.22**	0.29**	8.52**	0.09**	0.049**
MS GCA/ MS SCA	-	1.70 ^{ns}	2.31*	2.22*	1.65 ^{ns}	1.52 ^{ns}	1.94 ^{ns}
C.V. (%)	-	10.07	12.76	10.52	12.76	6.55	36.43

*, ** and ns, significant at the 0.05 and 0.01 levels, and Non-significant respectively.

وزن هزاردانه و طول خورجین معنی دار شد که نشان دهنده اهمیت بیشتر اثر افزایشی نسبت به اثر غیر افزایشی ژن‌های کنترل کننده این صفات است بنابراین گزینش بر اساس این صفات موفقیت آمیز خواهد بود. برای صفت شاخص تحمل به ریزش خورجین، عملکرد دانه و سایر صفات، نتایج این مطالعه نشان داد که اثرات ترکیب پذیری عمومی و خصوصی به یک اندازه در وراثت این صفات نقش دارند در حالی که Morgan et al. (2000) با بررسی ترکیب پذیری لاین‌های مصنوعی کلزا شامل dk129 و dk142 دریافتند که برای صفت تحمل به ریزش خورجین اثرات GCA مهم‌تر از اثرات SCA هستند.

بر آورد مقادیر واریانس‌های افزایشی و غالبیت و میزان وراثت پذیری عمومی و خصوصی (جدول ۳) نشان داد که میزان وراثت پذیری عمومی صفات مورد مطالعه در دامنه ۷۸/۹۳-۸۱/۸۷ درصد نوسان داشت که بیانگر سهم بالای واریانس ژنتیکی در کنترل این صفات است، زیرا در تمامی صفات حداقل مقدار آن از ۷۸/۸۱ درصد کمتر نبود با وجود این به علت انجام آزمایش در یک سال، احتمالاً قسمتی از واریانس ژنتیکی مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط است بنابراین تکرار آزمایش در سال بعد می‌تواند به درک بهتر سهم اثر متقابل ژنوتیپ×محیط

(Azizinia 2011) نیز برای اغلب صفات هر دو اثر افزایشی و غیر افزایشی را مهم دانستند. برای صفت عملکرد دانه به‌عنوان برآیند سایر صفات گزارش‌های سایر محققان از قبیل Rameah et al. (2003)، Akbar et al. (2008) و Singh et al. (2016) در ارتباط با وجود اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها نیز مؤید این مطلب است. با توجه به سهم مشترک اثرات افزایشی و غالبیت ژن‌ها در کنترل عملکرد دانه تولید ارقام دورگ با استفاده از والدین مناسب توجه پذیر است و از این طریق می‌توان از پدیده هتروزیس در کلزا استفاده کرد. ضریب تغییرات محاسبه شده برای صفات مورد مطالعه از ۶/۵۵ برای صفت عملکرد دانه تا ۳۶/۴۳ درصد برای صفت شاخص تحمل به ریزش خورجین نوسان داشت که با توجه به نوع و ماهیت صفات مقادیر قابل قبولی بودند.

Jia et al. (2013) در بررسی ترکیب پذیری و پتانسیل اصلاحی لاین‌های منتخب کلزا برای تحمل به ریزش خورجین نشان دادند میانگین مربعات ترکیب پذیری عمومی و میانگین مربعات ترکیب پذیری خصوصی برای این صفت به ترتیب در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی دار است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. نسبت میانگین مربعات GCA به SCA (نسبت بیکر) برای صفات

Table 3. Estimation of genetic parameters, h^2_{bs} and h^2_{ns} for studied traits in oilseed rape

S.O.V.	Mean squares (MS) for studied traits					
	Number of seeds in silique	1000-Seed weight	Length of silique	Oil contents	Grain yield	Silique shattering tolerance index
σ^2_A	0.79	0.05	0.05	0.85	0.008	0.007
σ^2_D	5.24	0.17	0.14	6.12	0.08	0.03
σ^2_E	2.03	0.05	0.15	2.40	0.02	0.01
σ^2_p	2.17	0.06	0.16	2.54	0.02	0.02
D.deg	3.64	2.76	2.24	3.79	4.51	3.61
h^2_{bs}	89.87	92.60	78.81	89.71	93.87	88.64
h^2_{ns}	11.79	19.26	22.50	10.96	8.41	15.57

گزارش شده است.

با توجه به مقادیر اثرات ترکیب پذیری عمومی والدین آزمایشی در صفات مختلف و نتایج آزمون آن‌ها (جدول ۴) برای طول خورجین والد طلایه Talaye (**0.39)، تعداد دانه در خورجین والدین Ahmadi (**1.37) و Nafis (**1.55)، برای وزن هزاردانه والدین Okapi (**0.35) و Nafis (**0.30) و ES Danube (**0.19) برای میزان روغن والدین ES Artist (**1.49)، ES Danube (**0.99) و ES Neptune (**1.02) از ترکیب پذیری مثبت و معنی داری برخوردار بودند بنابراین از این والد‌ها می‌توان در بلوک‌های تلاقی برای ایجاد جمعیت‌های پایه ژنتیکی مناسب و همچنین در راستای بهبود این صفات در تلاقی‌ها استفاده نمود. در ارتباط با صفت عملکرد دانه والدین Zarfam و ES Neptune، ES Natalie و ES Artist از ترکیب پذیری بالایی برخوردار بودند بنابراین انتظار می‌رود که در نتایج حاصل از تلاقی آن‌ها سهم اثرات افزایشی ژن‌ها افزایش یافته و کارایی انتخاب نیز بالا رود بنابراین از این لاین‌ها می‌توان برای تهیه جمعیت‌های پایه و گزینش ارقام پرمحصول کلزا در برنامه‌های اصلاحی این گیاه استفاده کرد. والدین Zarfam، ES Artist و ES Neptune همچنین دارای اثرات ترکیب پذیری مثبت و معنی داری برای صفت شاخص تحمل به ریزش بودند از این رو می‌توان در برنامه‌های اصلاحی به منظور اصلاح این صفت از آن‌ها بهره جست. این والدین با عملکرد کمک‌کنند و برآورد دقیق تری از میزان وراثت پذیری مطلوب و شاخص تحمل به ریزش بالا به عنوان بهترین

صفات حاصل شود. در خصوص صفات با وراثت پذیری عمومی بالا، گزینش در نسل‌های اولیه اصلاحی موفقیت آمیز می‌باشد، اما در خصوص صفاتی که وراثت پذیری عمومی پایینی دارند نقش واریانس محیطی بیشتر بوده که انتخاب تا نسل‌های پیشرفته اصلاحی بایستی به تأخیر افتد. میزان وراثت پذیری عمومی برای صفت شاخص تحمل به ریزش ۸۷/۶۴ درصد است و حاکی از تأثیر بیشتر واریانس ژنتیکی در مقایسه با واریانس محیطی در توارث این صفت است. Jia et al. (2013) نیز با بررسی کنترل ژنتیکی ژرم پلاسماهای منتخب کلزا برای تحمل به ریزش خورجین میزان وراثت پذیری عمومی این صفت را ۵۶ درصد ذکر کردند. نتایج وراثت پذیری خصوصی صفات نشان داد که بالاترین وراثت پذیری خصوصی مربوط به صفت طول خورجین ($h^2_{ns}=22/50$) و کمترین وراثت پذیری خصوصی مربوط به صفت عملکرد دانه ($h^2_{ns}=8/41$) است. در خصوص صفت شاخص تحمل به ریزش این مقدار برابر ۱۵/۵۷ درصد است. وراثت پذیری خصوصی در محاسبه واکنش صفات به گزینش دخالت دارد. پایین بودن وراثت پذیری خصوصی عملکرد دانه می‌تواند به علت بیشتر بودن سهم اثرات غیرافزایشی نسبت به افزایشی باشد که حاکی از پایین بودن بازده گزینش برای اصلاح صفات مذکور در برنامه‌های اصلاحی آتی است و عدم تأثیر نسبی انتخاب را در تولید نتایج برتر نشان می‌دهد. بنابراین برای تشخیص ژنوتیپ‌های مناسب نیاز به جامعه‌ای بزرگ، آزمون نتایج و روش‌های آماری پیچیده است. چنین برآوردی توسط Azizinia (2011) و Jia et al. (2013)

Table 4. Estimation of general combining ability effects for studied traits in winter oilseed rape

Crosses	Length of silique	Number of seeds in silique	1000-Seed weight	Oil contents	Grain yield	Silique shattering tolerance index
Okapi	0.09 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.35 ^{**}	-2.13 ^{**}	-0.11 ^{**}	-0.15 ^{**}
Ahmadi	0.20 ^{ns}	1.37 ^{**}	0.03 ^{ns}	-0.56 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.09 [*]
Nafis	0.27 [*]	1.55 ^{**}	0.30 ^{**}	-0.28 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	-0.07 ^{ns}
Nima	0.06 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.06 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.03 ^{ns}
SLM046	0.02 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.47 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Talaye	0.39 ^{**}	-1.08 [*]	-0.08 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.03 ^{ns}
Zarfam	0.27 [*]	0.87 [*]	0.04 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.13 ^{**}	0.11 ^{**}
ES Danube	-0.18 ^{ns}	-1.44 ^{**}	-0.13 ^{ns}	0.99 [*]	-0.15 ^{**}	0.01 ^{ns}
ES Neptune	-0.19 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	0.19 ^{**}	1.02 [*]	0.10 [*]	0.05 ^{**}
ES Natalie	-0.23 [*]	-0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.86 ^{ns}	0.20 ^{**}	-0.03 ^{ns}
ES Artist	-0.15 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.34 ^{**}	1.49 ^{**}	0.10 [*]	0.12 ^{**}
SE (gi)	0.10	0.37	0.06	0.41	0.03	0.03
SE (gi-gj)	0.15	0.56	0.08	0.60	0.05	0.04

* , ** and ns, significant at the 0.05 and 0.01 levels, and Non-significant respectively.

داد که بین صفت شاخص تحمل به ریزش خورجین و صفات عملکرد دانه و میزان روغن همبستگی مثبت و معنی داری به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد وجود دارد، اما در ارتباط این صفت با سایر صفات اثر معنی داری مشاهده نشد. (Liu et al. 2016) با بررسی کنترل ریزش خورجین ضریب همبستگی بالایی را بین شاخص تحمل به ریزش خورجین و صفت طول خورجین مشاهده نمودند. (Wang et al. 2007) نیز طی بررسی‌های خود گزارش نمودند که به جز صفت طول خورجین سایر صفات مورد بررسی با صفت شاخص تحمل به ریزش خورجین همبستگی معناداری نداشتند. از میان سه جزء عملکرد دانه دو جزء وزن هزاردانه و تعداد دانه در خورجین به ترتیب دارای همبستگی مثبت و معنی دار و همبستگی مثبت و غیر معنی دار با عملکرد دانه بودند.

نتیجه گیری

تجزیه دای آلل در این تحقیق اطلاعات باارزشی را در مورد چگونگی کنترل ژنتیکی صفات کمی بررسی شده فراهم آورده که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی آتی محققان مورد استفاده واقع شود. با توجه به اثرات ترکیب پذیری عمومی لاین‌ها و نقش اثرات افزایشی در کنترل ژنتیکی صفات، در مجموع والدین Zarfam و ES Artist با عملکرد مطلوب و شاخص تحمل به ریزش

ترکیب‌شونده‌های عمومی برای استفاده در سایر برنامه‌های اصلاحی توصیه می‌شود. نتایج ترکیب‌پذیری خصوصی دورگ‌ها نشان داد که دورگ‌های Okapi×Zarfam، Nafis×ES Artist برای صفات شاخص تحمل به ریزش خورجین و عملکرد دانه دارای ترکیب‌پذیری خصوصی مثبت و معنی داری بودند و لذا از آن می‌توان جهت استفاده از پدیده هتروزیس در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد (جدول ۵). بیشترین مقادیر ترکیب‌پذیری خصوصی برای شاخص تحمل به ریزش خورجین متعلق به دورگ‌های Nafis×ES Natelie، Ahmadi×Nafis، Okapi×Zarfam و Ahmadi×ES Neptune به ترتیب با ۰/۴۸، ۰/۳۹، ۰/۳۶ و ۰/۳۶ است از این رو می‌توانند به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده‌های خصوصی برای برداشت مکانیزه واریته‌های کلزا و همچنین بهبود این صفت مورد توجه قرار گیرند. دورگ‌های Zarfam×ES Artist و Zarfam×ES Neptune به علت عدم حضور غالبیت ژنی دارای ترکیب‌پذیری خصوصی غیر معنی دار می‌باشد اما والدین آن‌ها دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی دار است که از این دورگ‌ها می‌توان در روش شجره‌ای برای افزایش نوترکیبی در برنامه‌های اصلاحی بهره برد.

نتایج بررسی همبستگی صفات (جدول ۶) نشان

Table 5. Estimation effect of specific combining ability (SCA) for studied traits in winter oilseed rape

Crosses	Length of silique	Number of seeds in silique	1000-Seed weight	Oil contents	Grain yield	Silique shattering tolerance index
OP×AH	-1.25**	-2.75*	0.04 ^{ns}	1.77 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.09 ^{ns}
OP×NF	-0.71 ^{ns}	-1.63 ^{ns}	-0.86**	-2.52 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.28*
OP×NI	0.44	3.75**	-0.04 ^{ns}	4.75**	-0.33**	-0.01 ^{ns}
OP×SL	0.87*	-1.07 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	2.34 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}
OP×TL	0.72 ^{ns}	-1.70 ^{ns}	0.51*	-0.07 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.13 ^{ns}
OP×ZF	0.86*	8.43**	0.28 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.47**	0.36**
OP×EDN	0.00 ^{ns}	2.23 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-2.89*	0.48**	-0.01 ^{ns}
OP×ENP	0.42 ^{ns}	-0.60 ^{ns}	-0.65**	-3.10*	0.08 ^{ns}	0.05 ^{ns}
OP×ENT	-0.17 ^{ns}	-1.30 ^{ns}	0.53*	-2.44 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.07 ^{ns}
OP×EAT	0.33 ^{ns}	-1.09 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-4.72**	-0.12 ^{ns}	-0.06 ^{ns}
AH×NF	-0.01 ^{ns}	-1.58 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.19 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.48**
AH×NI	-0.97**	-1.81 ^{ns}	-0.42*	-3.82*	0.31**	-0.44**
AH×SL	0.62 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-0.48*	-2.80 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.09 ^{ns}
AH×TL	0.19 ^{ns}	-0.41 ^{ns}	-0.67**	-4.65**	-0.11 ^{ns}	-0.38**
AH×ZF	0.43 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-2.54 ^{ns}	-0.34**	0.18 ^{ns}
AH×EDN	0.30 ^{ns}	1.21 ^{ns}	-0.69**	2.97*	-0.42**	-0.05 ^{ns}
AH×ENP	0.22 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	1.20**	5.26**	-0.11 ^{ns}	0.36**
AH×ENT	0.23 ^{ns}	-0.85 ^{ns}	0.81**	1.32 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.15 ^{ns}
AH×EAT	0.80*	5.63**	-0.31 ^{ns}	4.65**	0.80**	0.07 ^{ns}
NF×NI	-0.99**	5.22**	-0.16 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.05 ^{ns}
NF×SL	0.17 ^{ns}	1.03 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	-0.51 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.49**
NF×TL	0.04 ^{ns}	3.20*	0.93**	2.49 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.13 ^{ns}
NF×ZF	0.43 ^{ns}	-1.07 ^{ns}	0.38 ^{ns}	5.53**	-0.23 ^{ns}	0.06 ^{ns}
NF×EDN	-0.85 ^{ns}	1.30 ^{ns}	0.63**	-1.47 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.04 ^{ns}
NF×ENP	0.04 ^{ns}	-1.77 ^{ns}	0.11 ^{ns}	3.57*	0.37**	0.01 ^{ns}
NF×ENT	0.63 ^{ns}	-1.86 ^{ns}	-0.31 ^{ns}	-4.07**	-0.09 ^{ns}	0.39**
NF×EAT	0.40 ^{ns}	1.22 ^{ns}	0.38 ^{ns}	2.21 ^{ns}	0.32**	0.28*
NI×SL	0.60 ^{ns}	1.81 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3.86**	-0.10 ^{ns}	0.23*
NI×TL	0.44 ^{ns}	-2.42 ^{ns}	0.78**	0.94 ^{ns}	-0.47**	-0.09 ^{ns}
NI×ZF	-0.42 ^{ns}	-1.39 ^{ns}	0.16 ^{ns}	1.54 ^{ns}	0.86**	-0.20 ^{ns}
NI×EDN	-0.09 ^{ns}	-3.09*	0.05 ^{ns}	-1.48 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.10 ^{ns}
NI×ENP	0.04 ^{ns}	0.84 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	0.73 ^{ns}	0.39**	-0.05 ^{ns}
NI×ENT	0.32 ^{ns}	-2.02 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	-0.93 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.33**
NI×EAT	-0.06 ^{ns}	1.53 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	4.07**	-0.66**	0.03 ^{ns}
SL×TL	-0.50 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.38 ^{ns}	-0.79 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.21 ^{ns}
SL×ZF	0.25 ^{ns}	1.12 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.16 ^{ns}
SL×EDN	-0.08 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.81 ^{ns}	0.44**	0.003 ^{ns}
SL×ENP	-0.21 ^{ns}	-1.10 ^{ns}	-0.63**	3.56**	-0.35**	0.17 ^{ns}
SL×ENT	0.69 ^{ns}	-4.17**	0.76**	3.28*	-0.19 ^{ns}	0.23 ^{ns}
SL×EAT	-0.27 ^{ns}	-0.96 ^{ns}	0.42 ^{ns}	-2.67 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.09 ^{ns}
TL×ZF	-0.26 ^{ns}	0.46 ^{ns}	-0.55*	-0.29 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.10 ^{ns}
TL×EDN	0.40 ^{ns}	-1.97 ^{ns}	0.10 ^{ns}	1.10 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.05 ^{ns}
TL×ENP	0.22 ^{ns}	-1.44 ^{ns}	-0.40 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.01 ^{ns}
TL×ENT	0.08 ^{ns}	2.07 ^{ns}	-0.64**	-0.09 ^{ns}	0.46**	0.14 ^{ns}
TL×EAT	-0.22 ^{ns}	3.35*	-0.36 ^{ns}	0.99 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.01 ^{ns}
ZF×EDN	0.16 ^{ns}	1.15 ^{ns}	-0.48*	1.25 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.17 ^{ns}
ZF×ENP	-0.50 ^{ns}	-2.04 ^{ns}	-0.41 ^{ns}	0.34 ^{ns}	-0.31*	-0.29*
ZF×ENT	-0.16 ^{ns}	1.33 ^{ns}	0.05 ^{ns}	1.42 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.25*
ZF×EAT	-0.38 ^{ns}	-2.56 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-1.41 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.07 ^{ns}
EDN×ENP	-0.33 ^{ns}	-1.11 ^{ns}	0.09 ^{ns}	2.80*	0.22 ^{ns}	0.02 ^{ns}
EDN×ENT	-0.46 ^{ns}	-2.60 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.19 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.18 ^{ns}
EDN×EAT	0.08 ^{ns}	-1.03 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-3.68*	0.60**	-0.10 ^{ns}
ENP×ENT	-0.21 ^{ns}	8.37**	-0.03 ^{ns}	0.80 ^{ns}	-0.30*	-0.51*
ENP×EAT	-0.66 ^{ns}	-3.36*	0.54*	0.22 ^{ns}	-0.24*	-0.20 ^{ns}
ENT×EAT	0.06 ^{ns}	0.55 ^{ns}	-0.38 ^{ns}	1.17 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.04 ^{ns}
SE (Sij)	0.36	1.32	0.21	1.43	0.12	0.17
SE (Sij-Skl)	0.51	1.85	0.29	2.01	0.16	0.16

*, ** and ns, significant at the 0.05 and 0.01 levels, and Non-significant respectively.

OP: Okapi, AH: Ahmadi, NF: Nafis, NI: Nima, SL: SLM046, TL: Talaye, ZF: Zarfam, EDN: ES Danube, ENP: ES Neptune, ENT: ES Natalie, EAT: ES Artist

Table 6. Estimates of Correlation coefficients for studied traits in winter oilseed rape

Row	Parents	1	2	3	4	5	6
1	Length of silique	1	0.227*	0.182	0.015	0.079	0.027
2	Number of seeds in silique	-	1	0.091	-0.006	0.027	-0.051
3	1000-Seed weight	-	-	1	-0.099	0.413**	0.032
4	Oil contents	-	-	-	1	0.164	0.313*
5	Grain yield	-	-	-	-	1	0.449**
6	Silique shattering tolerance index	-	-	-	-	-	1

طرح تحقیقاتی مصوب موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به شماره 2-03-03-003-940082 می باشد بدین وسیله از زحمات کارکنان محترم بخش دانه های روغنی مؤسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، آزمایشگاه بیوفیزیک و ابزار دقیق محصولات کشاورزی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کشور، همچنین از سرکار خانم مهندس علیزاده و آقایان مهندس امیرحسین مهدوی و مهندس مجید عیدی کهنکی که در قسمتی از مراحل انجام کار همکاری نمودند تقدیر و تشکر می گردد.

بالا به عنوان بهترین ترکیب شونده های عمومی و دورگ های Ahmadi×Nafis, Nafis×ES Artist, Okapi×Zarfam, Zarfam×ES Neptune, Ahmadi×ES Neptune به عنوان بهترین ترکیب شونده های خصوصی برای برداشت مکانیزه کلزا و بهبود صفت تحمل به ریزش خورجین توصیه می گردد.

سپاس گذاری

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول و

References

- Akbar, M., Tahira, B. M. A., & Hussain, M. (2008). Combining ability studies in *Brassica napus*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10(2), 205-208.
- Amiri Oghan, H., Moghaddam, M., Ahmadi, M. R., & Davari, S. J. (2003). Determination of gene action and heritability of drought stress resistance indices in rapeseed. *Journal of Iran Agriculture Science*, 35(1), 73-83. [In Farsi]
- Azizinia, S. (2011). Combining ability analysis for yield component parameters in winter rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.). *Journal of Oilseed Brassica*, 2(2), 67-75.
- Braatz, J., Harloff, H. J., & Jung, C. (2018). EMS-induced point mutations in ALCATRAZ homoeologs increase silique shatter resistance of oilseed rape (*Brassica napus*). *Euphytica*, 214(2), 1-9.
- Cardoza, V., & Stewart, C. N. (2004). Brassica Biotechnology: Progress in cellular and molecular biology. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 40(6), 542-551.
- Cavalieri, A., Harker, K. N., Hall, L. M., & Gulden, R. H. (2016). Evaluation of the causes of on-farm harvest losses in canola in the Northern Great Plains. *Crop Science*, 56(4), 2005-2015.
- Child, R. D., Summers, J. E., Babij, J., Farrent, J. W., & Bruce, D. M. (2003). Increased resistance to pod shatter is associated with changes in the vascular structure in pods of a resynthesized *Brassica napus* line. *Journal of Experimental Botany*, 54(389), 1919-1930.
- Griffing, B. (1956). A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10(1), 31-50.
- Gulden, R. H., Cavalieri, A., Syrovoy, L. D., & Shirliffe, S. J. (2017). Pod drop in *Brassica napus* is linked to weight-adjusted pod-retention resistance. *Field Crops Research*, 205(2017), 34-44.
- Gulden, R. H., Shirliffe, S. J., & Thomas, A. G. (2003). Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seed bank inputs. *Weed Science*, 51(1), 83-86.
- Hashemi, A. S., Nematzadeh, G. A., Babaeian Jelodar N., & Ghasemi, O. (2008). Study of gene effects for quantitative traits in rapeseed via diallel analysis. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*,

15(4), 81-96. [In Farsi]

- Hossain, S., Kadkol, G. P., Raman, R., Salisbury, P. A., & Raman, H. (2012). Breeding Brassica napus for shatter resistance. *Plant Breeding*, 14(1), 313-332.
- Hu, Z., Hua, W., Huang, S., Yang, H., Zhan, G., Wang, X., Liu, G., & Wang, H. (2012). Discovery of pod shatter-resistant associated SNPs by deep sequencing of a representative library followed by bulk segregant analysis in rapeseed. *PLoS One*, 7(4), e34253.
- Jia, L., Mei, D. S., Li, Y. C., Cui, J. C., Hui, W., Peng, P. F., & Qiong, H. (2013). Combining ability and breeding potential of rapeseed elite lines for pod shatter resistance. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(3), 552-555.
- Jorgensen, T., Hauser, T. P., & Jorgensen, R. B. (2007). Adventitious presence of other varieties in oilseed rape (*Brassica napus*) from seed banks and certified seed. *Seed Science Research*, 17(2), 115-125.
- Liu, J., Wang, J., Wang, H., Wang, W., Zhou, R., Mei, D., & Hu, Q. (2016). Multigenic control of pod shattering resistance in Chinese rapeseed germplasm revealed by genome-wide association and linkage analyses. *Frontiers in Plant Science*, 7(2016), e1058.
- Malekshahi, F., Dehghani, H., & Alizadeh, B. (2012). Biplot trait analysis of some of canola (*Brassica napus* L.) genotypes in irrigation and drought stress conditions. *Plant Productions*, 35(3), 1-16. [In Farsi]
- Morgan, C. L., Bruce, D. M., Child, R., Ladbrooke, Z. L., & Arthur, A. E. (1998). Genetic variation for pod shatter resistance among lines of oilseed rape developed from synthetic *B. napus*. *Field Crops Research*, 58(2), 153-165.
- Morgan, C. L., Ladbrooke, Z. L., Bruce, D. M., Child, R., & Arthur, A. E. (2000). Breeding oilseed rape for pod shattering resistance. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 135(4), 347-359.
- Nassimi, A. W., Sardar, A., Hassan, G., & Naushad, A. (2006). Combining ability analysis for maturity and other traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy*, 5(3), 523-526.
- Peng, P., Li, Y., Mei, D., Liu, D., Fu, L., Wang, H., Sang, S., Chen, Y., & Hu, Q. (2013). Optimization and experiment of assessment method for pod shatter resistance in *Brassica napus* L. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29(21), 19-25.
- Price, J. S., Neale, M. A., Hobson, R. N., & Bruce, D. M. (1996). Seed losses in commercial harvesting of oilseed rape. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65(3), 183-191.
- Rameah, V., Rezai, A., & Saeidi, G. (2003). Estimation of genetic parameters for yield, yield components and glucosinolate in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 5(1), 143-151.
- Roberts, J. A., Elliott, K. A., & Gonzalez-Carranza, Z. H. (2002). Abscission, dehiscence, and other cell separation processes. *Annual review of Plant Biology*, 53(1), 131-158.
- Singh, M., Singh, L., & Srivastava, S. B. L. (2016). Combining ability analysis in Indian mustard (*B. juncea* L. Czern and Coss). *Journal of Oilseed Brassica*, 1(1), 23-27.
- Squires, T. M., Gruwel, M. L. H., Zhou, R., Sokhansanj, S., Abrams, S. R., & Cutler, A. J. (2003). Dehydration and dehiscence in siliques of *Brassica napus* and *Brassica rapa*. *Canadian Journal of Botany*, 81(3), 248-254.
- Wang, R., Ripley, V. L., & Rakow, G. (2007). Pod shatter resistance evaluation in cultivars and breeding lines of *Brassica napus*, *Brassica juncea* and *Sinapis alba*. *Plant Breeding*, 126(6), 588-595.
- Yousefi, F., Hassibi, P., Roshanfekar, H., & Meskarbashee, M. (2015). Study of drought and salinity stress effect on some physiological characters of two canola (*Brassica napus* L.) varieties in Ahvaz. *Plant Productions*, 38(4), 25-34 [In Farsi]