



ارزیابی عملکرد دانه و پایداری عملکرد در لاین‌های جهش‌یافته‌ی کلزا (*Brassica napus*) با استفاده از رهیافت GGE بای پلات

بهنام ناسریان خیابانی^{۱*}، بهرام علیزاده^۲

۱. پژوهشکده‌ی کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۴۹۸-۳۱۴۸۵، کرج - ایران

۲. مؤسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه‌ی نهال و بذر، ازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، صندوق پستی: ۴۱۱۹-۳۱۵۸۵، کرج - ایران

چکیده: به منظور ارزیابی عملکرد دانه و پایداری عملکرد لاین‌های جهش‌یافته حاصل از پرتو دهی رقم RGS ۰۰۳ با پرتو گاما آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در طی سال‌های زراعی ۹۰ تا ۹۲ در مزرعه‌ی پژوهشکده‌ی کشاورزی هسته‌ای اجرا شد. عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌ها در طی دو سال آزمایش اختلاف معنی‌دار داشتند. اثر متقابل سال \times ژنوتیپ (GE) در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. شناسایی و جداسازی لاین‌های جهش‌یافته در روش‌های اصلاح به کمک جهش به خصوص در صفات کمی به دلیل وجود اثرهای متقابل محیط و ژنوتیپ اهمیت بالایی دارد. روش بای پلات روش مؤثری در جداسازی و انتخاب لاین‌های جهش‌یافته بر اساس صفات مورد اندازه‌گیری و نیز پایداری صفت در طول زمان است. در این پژوهش برای انتخاب لاین برتر از میان ۳۲ لاین جهش‌یافته از روش GGE بای پلات استفاده شد. با این روش سه لاین جهش‌یافته RG۱۶، RG۱۴ و RG۳۱ به‌عنوان لاین‌های برتر با عملکرد بالا و پایدار، معرفی شد. بر اساس نتایج این آزمایش، روش اصلاح به کمک جهش در اصلاح کلزا بسیار مؤثر و سودمند است.

کلیدواژه‌ها: دانه‌های روغنی، کلزا، اصلاح به روش جهش، GGE بای پلات

Evaluation of Grain Yield and Yield Stability in Rapeseed (*Brassica Napus*) Mutant Lines Using GGE Biplot

B. Naserian Khiabani^{1*}, B. Alizadeh²

1. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 31485-498, Karaj – Iran
2. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), P.O.Box: 31585-4119, Karaj- Iran

Abstract: In order to evaluate the mutant lines derived from irradiation of oilseed rape cultivar RGS003 using gamma-ray, this study was carried out during two growing seasons from 2011 to 2013, at the experimental fields in the Nuclear Agricultural Research School. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. Significant differences were observed between mutant genotypes and cultivars for grain yield during two years of the experiment. Interaction of year \times genotype (GE) showed a significant difference. Identification and selection of mutant lines, especially in the quantitative traits due to the interaction of genotype and environmental effects, is very important and complicated. The biplot method is an effective approach for the selection of mutant lines, based on the traits and yield stability over the time. The aim of this research was selection of the superior mutant lines from of 32 mutants, using the GGE biplot method. The mutant lines RG16, RG14 and RG31 showed high and stable grain yields compare to other mutant lines and cultivars. According to our results, mutation breeding can be used effectively in oil seed rape improvement.

Keywords: Oil seed, *Brassica napus*, Mutation breeding, GGE biplot analysis



۱. مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند [۱، ۲]. کلزا به لحاظ عملکرد کمی و کیفی مطلوب روغن از اولویت خاصی برخوردار بوده و با توجه به نیاز مبرم کشور به تولید روغن‌های گیاهی، افزایش تولید و سطح زیر کشت آن حایز اهمیت است. در کشور ما افزایش مصرف همگام با افزایش تولید نیست به طوری که تنها ۱۰ درصد روغن مورد نیاز کشور در داخل تولید می‌شود [۳].

به‌کارگیری روش‌های اصلاحی مناسب امری ضروری در راستای دستیابی به رقم‌های با خصوصیات مطلوب و در نهایت عملکرد بالا برای این گیاه است. القای جهش، روشی برای افزایش تنوع ژنتیکی است که همراه با انتخاب، نوترکیبی و یا ترکیبی از این دو در اصلاح گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. در حقیقت جهش با ایجاد تنوع، زمینه را برای ظهور قابلیت‌های نهفته‌ی ژنتیکی که به طور طبیعی بروز نمی‌یابند، فراهم می‌سازد. از آنجایی که جهش‌های خودبه‌خودی با فراوانی خیلی کم رخ می‌دهند راهکارهای القای جهش ابزار مناسبی برای افزایش سریع تنوع در گونه‌های گیاهی هستند [۴، ۵]. جهش‌های القایی سهم عمده‌ای در شناخت سازوکار ژنتیکی، به‌ویژه درک ساختار عملکرد مواد ژنتیکی دارند. تنوع حاصل از جهش اگر موجب سازگاری شود به حفظ بقای موجود در محیط‌های مختلف کمک می‌کند. با وجود برخی محدودیت‌ها در اصلاح به روش جهش، القای جهش به طور گسترده‌ای برای اصلاح گیاهان استفاده می‌شود. مزیت مهم اصلاح به روش جهش، امکان اصلاح یک یا چند صفت بدون تغییر منبع‌های ژنی است [۵، ۶]. تاکنون بیش از ۳۲۰۰ لاین جهش‌یافته از گیاهان مختلف با صفات زراعی اصلاح یافته در جهان معرفی شده است [۷]. جهش‌زایی از طریق پرتودهی با تابش گاما از مهم‌ترین روش‌های استفاده شده برای ایجاد تنوع ژنتیکی است. این روش به طور موفقیت‌آمیزی در کلزا برای تغییر ساختار ژنتیکی گیاه و جداسازی جهش‌یافته‌هایی با خصوصیات اقتصادی مطلوب همانند ارتفاع بوته، تعداد غلاف در گیاه، تعداد بذر در هر غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، محتوای روغن و مقاومت به بیماری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۸-۱۳].

اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط یکی از مفاهیم مهم در اصلاح نباتات است که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی نقش اساسی در تعیین ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های هدف داشته باشد. اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط زمانی مهم است که این اثر معنی‌دار شده و ژنوتیپ‌های مختلف برتری خود را در محیط‌های متفاوت نشان دهند [۱۴]. عملکرد یک ژنوتیپ در محیط متشکل از اثر اصلی محیط (E)، اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط (GE) است. به رغم این که اثر محیط بخش بزرگی از تغییرات کل عملکرد را توجیه می‌کند و اثرهای ژنوتیپ و ژنوتیپ \times محیط کوچک‌تر هستند، اما این دو اثر در انتخاب ژنوتیپ‌ها مؤثر بوده و در زمان گزینش ژنوتیپ‌های برتر، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط باید به صورت توأم مدنظر قرار گیرند [۱۵]. سه روش تحلیل آماری GGE بای‌پلات، AMMI و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) اغلب برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش‌های مقایسه‌ی عملکرد ناحیه‌ای استفاده می‌شوند [۱۵]. کانگ [۱۶] عقیده دارد که از دیدگاه به‌نژادگران و نیز تولیدکنندگان محصولات زراعی، گزینش ژنوتیپ‌ها براساس G و یا GE به تنهایی مدنظر نیست. آنچه در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حایز اهمیت است بزرگ بودن اثر محیط و غیرقابل بهره‌برداری بودن آن است. بنابراین حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر روی اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط (GE) حایز اهمیت است. در روش GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (GE) از هم تفکیک نشده‌اند و به همین علت یان و همکاران [۱۷] اعتقاد دارند که روش GGE بای‌پلات از نظر تجزیه‌ی داده‌های ژنوتیپ در محیط موفق‌تر از روش AMMI است. روش GGE بای‌پلات همانند AMMI و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر پایه‌ی ریشه‌ی راکد منفرد (SVD) بنا نهاده شده است [۵، ۱۸].

هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط به روش گرافیکی GGE بای‌پلات در عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های جهش‌یافته کلزا و هم‌چنین شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار برتر است.



۲. مواد و روش‌ها

این سه منبع تغییر نشان داد که عمده تغییرهای موجود (۶۹٫۳۶٪) توسط اثر سال توجیه می‌شود. در حالی که ژنوتیپ (۲۱٫۲٪) و اثر متقابل سال در ژنوتیپ (۶٫۹۷٪) از کل تغییرها را توجیه می‌کنند. بزرگ بودن سهم ژنوتیپ از تغییرات کل نشان‌دهنده‌ی وجود تنوع ژنتیکی در لاین‌های جهش‌یافته به‌دست‌آمده از طریق پرتودهی است. مقایسه‌ی میانگین لاین‌های جهش‌یافته با سه رقم تجاری نشان داد که عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های موتانت RG۱۴، RG۱۶ و RG۳۱ از میانگین رقم‌های تجاری و نیز سایر جهش‌یافته‌ها به طور معنی‌داری بیش‌تر است (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه‌ی مرکب برای لاین‌های جهش‌یافته در ۲ سال برای عملکرد دانه

منبع‌های تغییر	درجه‌ی آزادی	عملکرد تک‌بوته
سال	۱	۳۲۸٫۹۵**
تکرار	۲	۱۰٫۲۸
ژنوتیپ	۳۴	۱۰۰٫۱۶**
سال × ژنوتیپ	۳۴	۳۲٫۹۷*
اشتباه	۱۳۸	۲۱٫۴۴
درصد ضریب تغییرات (C.V%)		۲۶٫۰۴

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪؛

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

جدول ۲. مقایسه‌ی میانگین عملکرد دانه در لاین‌های جهش‌یافته‌ی کلزا

ژنوتیپ	عملکرد دانه	ژنوتیپ	عملکرد دانه
RG۳۰۳	۱۶٫۱۶	RG۱۹	۲۰٫۷
Okapi	۱۵٫۴۹	RG۲۰	۲۰٫۲۹
Licord	۱۵٫۶۵	RG۲۱	۱۷٫۸۹
RG۴	۱۹٫۳۹	RG۲۲	۱۳٫۰۴
RG۵	۱۹٫۴۳	RG۲۳	۲۰٫۲۲
RG۶	۱۹٫۱۲	RG۲۴	۱۳٫۳۱
RG۷	۲۱٫۵۳	RG۲۵	۱۵٫۰۰
RG۸	۱۳٫۹۲	RG۲۶	۱۴٫۲۱
RG۹	۲۱٫۵۹	RG۲۷	۱۶٫۸۸
RG۱۰	۱۵٫۲۵	RG۲۸	۱۵٫۲۹
RG۱۱	۱۷٫۱۲	RG۲۹	۱۸٫۷۵
RG۱۲	۱۶٫۷۱	RG۳۰	۱۹٫۰۷
RG۱۳	۱۴٫۹۲	RG۳۱	۲۴٫۲۰
RG۱۴	۲۸٫۵۱	RG۳۲	۱۵٫۴۴
RG۱۵	۲۱٫۳۷	RG۳۳	۱۱٫۹۸
RG۱۶	۲۵٫۴۴	RG۳۴	۱۳٫۳۴
RG۱۷	۱۹٫۶۹	RG۳۵	۱۱٫۳۶
RG۱۸	۱۶٫۱۸		

حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ۲٫۸۸

در این پژوهش ۳۲ لاین جهش‌یافته (M₆) و سه رقم تجاری (RGS003، لیکورد و اکاپی) به مدت دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده‌ی کشاورزی هسته‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. لاین‌های جهش‌یافته از پرتودهی رقم RGS003 با پرتوگامای چشمه‌ی کبالت-۶۰ ایجاد شده بودند. جمعیت حاصل از پرتودهی در طی ۵ نسل برای صفات زراعی مهم گزینش شده و در نهایت ۳۲ لاین انتخاب شدند. لاین‌های جهش‌یافته به همراه سه رقم شاهد در طرح آزمایشی در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و در طی ۲ سال زراعی ۹۰ تا ۹۱ و ۹۱ تا ۹۲ مورد بررسی قرار گرفتند. هر بلوک شامل ۳۵ کرت و در هر کرت ۳ خط کاشت ۲ متری در نظر گرفته شد. تجزیه‌ی واریانس مرکب برای دو سال و مقایسه‌ی میانگین به روش LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

برای بررسی پایداری عملکرد از روش GGE بای‌پلات استفاده شد. مدل استفاده شده در GGE بای‌پلات براساس تجزیه به مقادیر منفرد^(۱) به صورت زیر بود

$$Y_{ij} - \mu - \beta = \sum \lambda_i \epsilon_{ij} \eta_{ij} + \epsilon_{ij}$$

که در آن Y_{ij} میانگین ژنوتیپ i در محیط j ، μ میانگین کل، β اثر اصلی محیط j ، λ_i مقادیر منفرد برای مؤلفه‌ی اصلی و برای بای‌پلات، η_{ij} ویژه-بردار سال برای مؤلفه‌ی اصلی و ϵ_{ij} باقی‌مانده‌ی مدل است. این روش تجزیه، نوعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای مجموع اثرهای اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال است که از طریق تجزیه به مقادیر منفرد انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل به کمک نرم‌افزارهای آماری R 3.3.2 (بسته نرم‌افزار GGEbiplotGUI) و SAS 9.3 به انجام رسید.

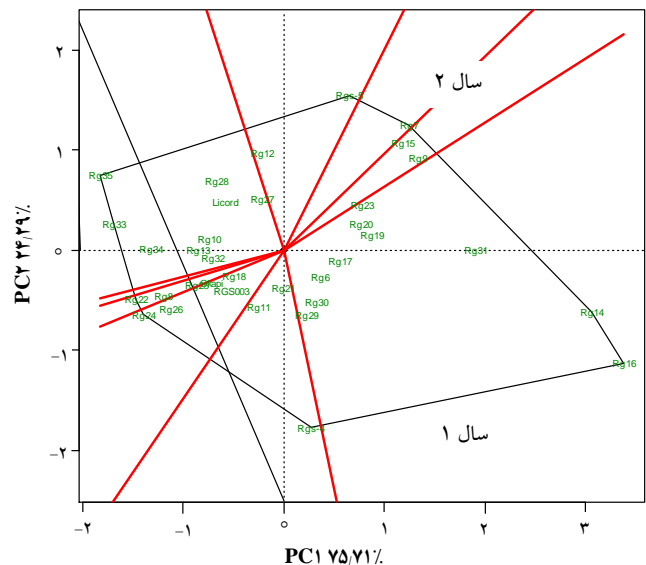
۳. یافته‌ها و بحث

آزمون بارتلت نشان داد که واریانس خطاهای آزمایشی در طول دو سال یکنواخت‌اند. یعنی بین واریانس خطاهای آزمایش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تجزیه‌ی واریانس مرکب میسر است. نتایج تجزیه‌ی واریانس مرکب نشان داد که منبع‌های تغییر سال، ژنوتیپ و سال × ژنوتیپ معنی‌دار هستند (جدول ۱). معنی‌دار بودن اثر متقابل سال در ژنوتیپ نشان‌گر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در طی سال‌های مورد بررسی بوده است. محاسبه‌ی درصد واریانس سال، ژنوتیپ و سال × ژنوتیپ نسبت به مجموع واریانس

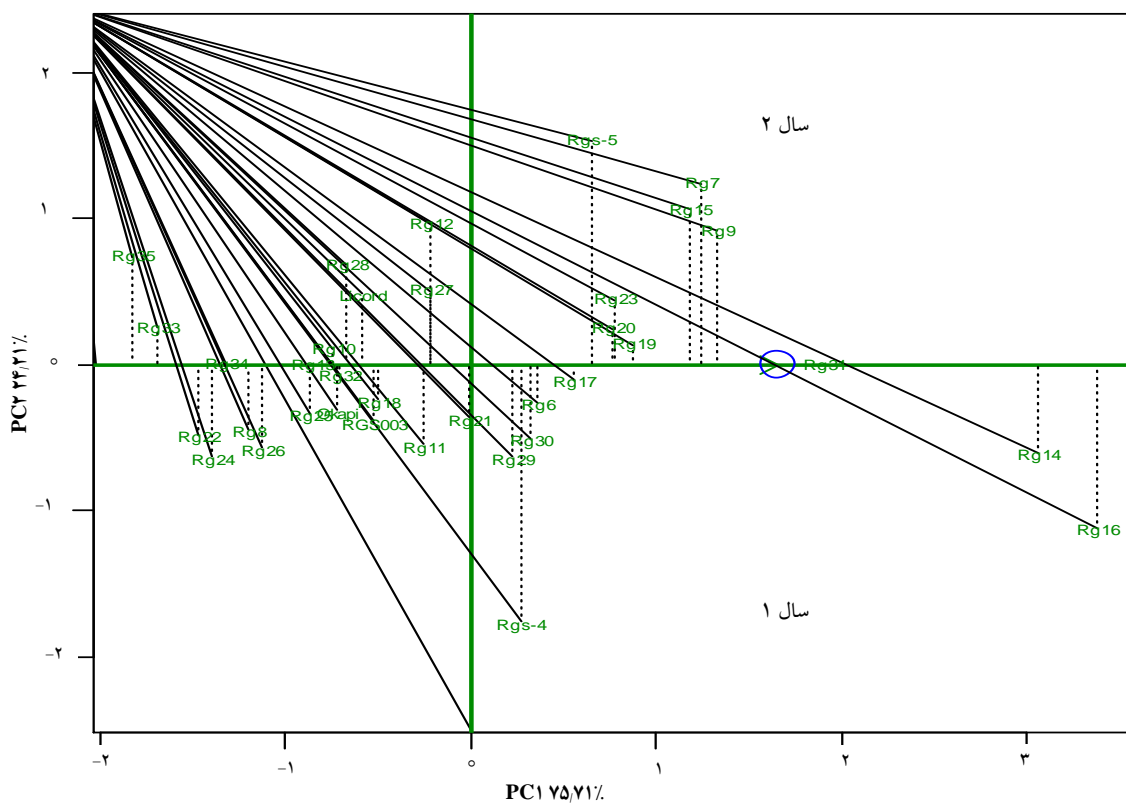


کوتاه بودن تصویر ژنوتیپ‌ها نسبت به محور افقی نشان‌دهنده‌ی پایداری آن‌ها در طی دو سال آزمایش است. بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از مختصات محیط متوسط امکان‌پذیر است [۱۹] که به آن بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز گفته می‌شود. دو محور عمود بر هم بیان‌گر اثر متقابل سال \times ژنوتیپ است. محور افقی میانگین محیط و محور عمودی نشان‌دهنده‌ی میانگین ژنوتیپ‌ها است. بلندتر بودن تصویر ژنوتیپ‌ها روی محور افقی (بدون در نظر گرفتن جهت) نشان‌دهنده‌ی ناپایداری بیش‌تر آن‌ها است. نتایج بای‌پلات میانگین (شکل ۲) نشان می‌دهد که دو لاین جهش‌یافته‌ی $RG16$ و $RG14$ ، بیش‌ترین عملکرد را در مقایسه با سایر لاین‌های جهش‌یافته و رقم‌های شاهد دارند. این نتایج با میانگین عملکرد دانه‌ی لاین‌های جهش‌یافته (جدول ۲) مطابقت دارد. بر اساس شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که رقم‌های $RG14$ و $RG16$ ، علاوه بر عملکرد بالا، با توجه به فاصله‌ی کم تا محور محیط متوسط (محور افقی) دارای پایداری نسبی عملکرد نیز هستند. جهش‌یافته‌ی $RG31$ پایدارترین ژنوتیپ و دارای عملکرد بالا است. مقایسه‌ی میانگین نشان می‌دهد که این ژنوتیپ دارای عملکرد همسان با جهش‌یافته‌ی $RG16$ و به طور معنی‌داری کم‌تر از موتانت $RG14$ است. رقم‌های شاهد لیکورد و اوکایی و هم‌چنین رقم $RGS003$ به عنوان رقم مادر لاین‌های جهش‌یافته با وجود پایداری، عملکرد کم‌تر از میانگین داشتند. ژنوتیپ آرمانی، ژنوتیپی فرضی است که دارای بیش‌ترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مرکز دایره هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد [۱۹]. میزان مطلوب بودن ژنوتیپ‌ها به فاصله‌ی آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. مقایسه‌ی رقم‌های جهش‌یافته و رقم‌های شاهد با ژنوتیپ آرمانی (شکل ۳) نشان می‌دهد که لاین‌های جهش‌یافته‌ی $RG14$ ، $RG16$ و $RG31$ به ترتیب نزدیک‌ترین جهش‌یافته‌ها به ژنوتیپ آرمانی هستند. ارقام شاهد در این بررسی در فاصله‌ی دورتری از ژنوتیپ آرمانی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های واقع در سمت چپ محور، عملکرد کم‌تر از میانگین دارند و جزو مواد با عملکرد ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند. مقایسه‌ی ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ آرمانی فرضی که، نشان داد جهش‌یافته‌های $RG16$ ، $RG14$ و $RG31$ به ترتیب، با کم‌ترین فاصله نسبت به ژنوتیپ آرمانی فرضی، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند (شکل ۳). ژنوتیپ آرمانی فرضی، ژنوتیپی است که از نظر مکانی در مرکز دایره‌های هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد و از بالاترین عملکرد و پایداری برخوردار است [۱۸]. میزان مطلوب بودن ژنوتیپ‌ها به فاصله‌ی آن‌ها از ژنوتیپ فرضی آرمانی بستگی دارد.

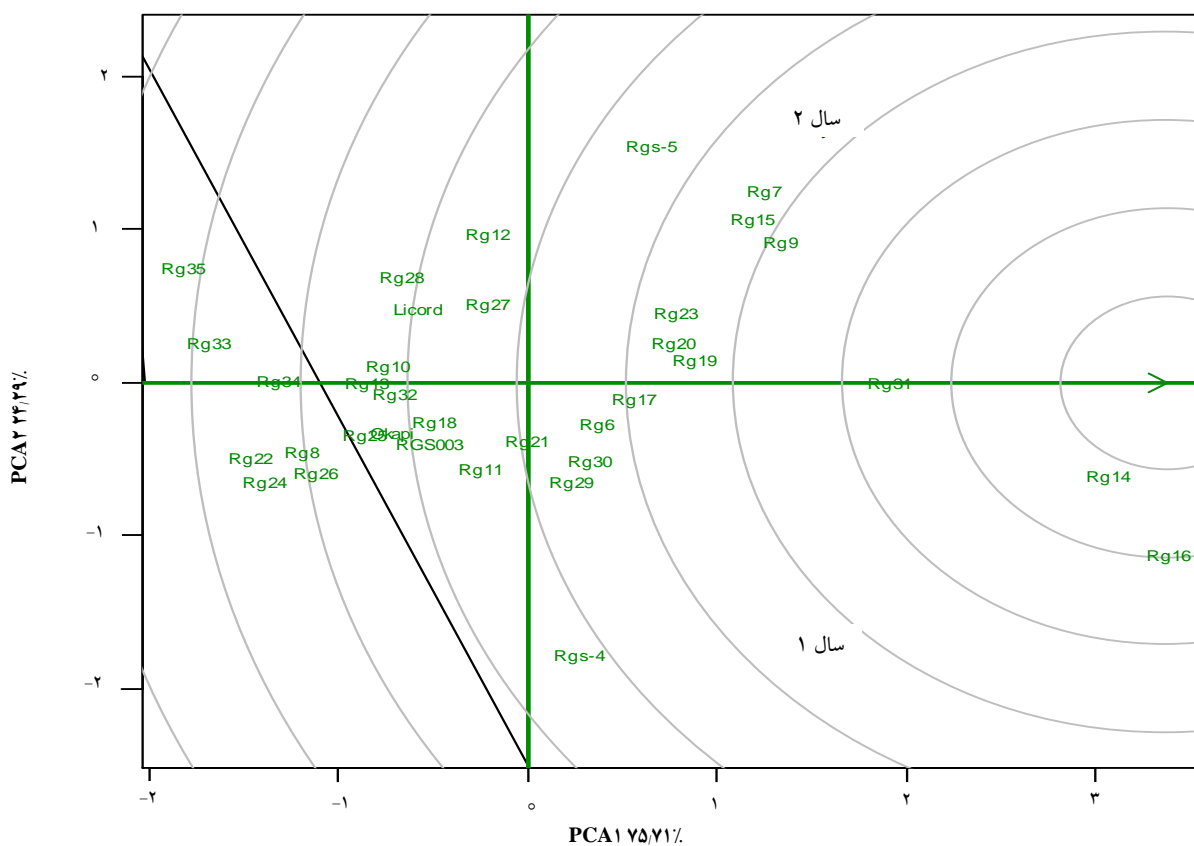
نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۷۵/۷۱٪ و ۲۴/۲۹٪ تغییرها را توجیه می‌کنند. به عبارت دیگر دو مؤلفه‌ی اصلی اول تمام تغییرها ژنوتیپ و سال \times ژنوتیپ را توجیه می‌کنند که می‌تواند تأییدی بر معتبر بودن بای‌پلات در توجیه این تغییرها باشد (شکل ۱). اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند اکثر تغییرهای موجود را توجیه کند بیان‌گر ماهیت پیچیده‌ی اثر متقابل سال \times ژنوتیپ است [۱۹]. بررسی نمودار چندضلعی به منظور تعیین ژنوتیپ‌های برتر در طی دو سال نشان داد که ژنوتیپ‌های $RG5$ ، $RG4$ ، RGV ، $RG14$ ، $RG16$ ، $RG24$ و $RG35$ که بیش‌ترین فاصله از مرکز بای‌پلات را داشتند، به عنوان ژنوتیپ‌های دارای بیش‌ترین یا کم‌ترین عملکرد شناخته شدند. ژنوتیپ‌های $RG4$ ، $RG14$ و $RG16$ در سال اول آزمایش و $RG5$ و RGV در سال دوم برتر بودند. ژنوتیپ‌های برتر سال اول شباهت بیش‌تری به ارقام RGS و لیکورد داشتند، در حالی که ژنوتیپ‌های برتر سال دوم مشابه رقم اوکایی بودند. در بخش‌هایی که ژنوتیپ‌های $RG24$ و $RG35$ در رأس آن‌ها قرار داشتند هیچ محیطی (سال) دیده نمی‌شود، این امر بیان‌گر آن است که این دو رقم در هیچ یک از سال‌ها بیش‌ترین عملکرد را نداشته و جزء رقم‌های ضعیف بودند.



شکل ۱. چندضلعی GGE بای‌پلات برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر.



شکل ۲. بای پلات مختصات متوسط برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های جهش‌یافته‌ی کلزا.



شکل ۳. بای پلات ژنوتیپ آرمانی برای مقایسه‌ی لاین‌های جهش‌یافته به لحاظ عملکرد و پایداری.



۴. نتیجه‌گیری

لاین‌های جهش‌یافته‌ی مورد بررسی در این مطالعه، در طول ۶ نسل بعد از پرتودهی برای صفات زیست‌شناختی و عملکرد انتخاب شدند. ارزیابی‌های اولیه، برتری عملکرد دانه در تک‌بوته‌ی لاین‌های جهش‌یافته را در مقایسه با سه رقم تجاری اکاپی، لیکورد و RGs۰۰۳ نشان داد. پایداری عملکرد و نیز تفکیک اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای معرفی لاین‌های امیدبخش دارای اهمیت است؛ روش نموداری GGE بای‌پلات روشی کارا برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، و برای جداسازی و انتخاب لاین‌های جهش‌یافته براساس صفات مورد اندازه‌گیری و نیز پایداری صفت در طول زمان است و اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها در اختیار قرار می‌دهد. این روش توانست لاین‌های جهش‌یافته‌ی RG۱۶، RG۱۴ و RG۳۱ را به عنوان لاین‌های برتر با عملکرد بالا و در عین حال پایدار معرفی کند. رقم مادری جهش‌یافته‌های انتخاب شده هر چند دارای پایداری عملکرد در طی دو سال آزمایش بود، اما عملکرد دانه‌ی کم‌تری را نسبت به اکثر جهش‌یافته‌های بررسی شده داشت. عملکرد بالا و پایداری لاین‌های جهش‌یافته‌ی انتخاب شده در مقایسه با رقم مادری RGS۰۰۳ و هم‌چنین دو رقم تجاری لیکورد و اکاپی امکان دست‌یابی به رقم‌های برتر از طریق روش اصلاح بالقای جهش را نشان داد. بنابراین می‌توان از طریق القای جهش با پرتو گاما و ایجاد تنوع ژنتیکی برای اصلاح کلزا که خاستگاه آن ایران نیست، اقدام نمود.

پی‌نوشت

1. Singular value decomposition

مرجع‌ها

- [1] M.R. Ahmadi, Canola research study in 1990, Research Institute of Seedling and Seed Breeding, seed oil department, Agriculture Ministry (1990).
- [2] M. Goosheh, Final report of determination of depth and irrigation period in canola farming, Khoozestan Research Institute of Agriculture and Environment, 1 & 11 (2003).
- [3] B. Andalibi, E. Zangani, A. Hagh Nazari, Effects of water stress on germination indices in six rapseed cultivars (*Brassica napus* L.), Iranian J. Agric. Sci. 36(2) (2005) 457-463.
- [4] R.D. Brock, Prospects and perspectives in mutation breeding, Basic Life Sci. 8 (1976) 117-132.
- [5] M. Maluszynski, B.S. Ahloowalia, S. Bojorn, Application of in vitro and in vivo mutation techniques for crop improvement, Euphytica, 85 (1995) 303-307.
- [6] A. Mousavi Shalmani, H. Ahari Mostafavi, B. Naserian Khiabani, M. Heidarieh, A. Majdabadi, Nuclear Agriculture (from science to practical aspect), Nuclear Science and Technology Research Institute, (2010).
- [7] R. Pathirana, Plant mutation breeding in agriculture, CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 6(32) (2011) 1-20.
- [8] A. Wani, M. Anis, Gamma Ray- and EMS-Induced Bold-Seeded High-Yielding mutants in chickpea (*Cicer arietinum*), Turk. J. Biol. 32 (2008) 1-5.
- [9] M.A. Javed, A. Khatri, I.A. Khan, M. Ahmad, M.A. Siddiqui, A.G. Arian, Utilization of gamma irradiation for the genetics improvement of oriental mustar (*Brassica juncea*). Pak. J. Bot. 32 (2000) 77-83.
- [10] A.M.L. Rehman, M. Das, A.R. Howlidar, M.A. Mansur, Promising mutants in *Brassica campestris*, Mut. Breed. Newsl. 29 (1987) 14-15.



- [11] S.S. Shah, I. Ali, K. Rahman, Induction and selection of superior genetic variables of oil seed rape, *Brassica napus* L. *The Nucleus*, 7 (1990) 37-40.
- [12] M.A. Javed, M.A. Siddiqui, M. Kashif, A. Khatri, I.A. Khan, N.A. Dahar, M.H. Khanzada, R. Khan, Development of high yielding mutants of *Brassica campestris* L. cv. Toria selection through gamma rays irradiation, *Plant Sci.* 2 (2003) 192-195.
- [13] J.B.S. Haldane, The interaction of nature and nurture, *Annals of Eugenics*, 13 (1946) 197-205.
- [14] W. Yan, Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data, *Agronomy Journal*, 94 (2002) 990-996.
- [15] H.G.Jr. Gauch, R.W. Zobel, AMMI analysis of yield trials, PP. 85-122. In: M.S. Kang and H.G. Gauch, Jr. (Eds.), *Genotype by Environment Interaction*, CRC Press, New York (1996).
- [16] M.S. Kang, Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers, *Agronomy Journal*, 85 (1993) 754-757.
- [17] W.M. Yan, S. Kang, B. Ma, S. Woods, P.L. Cornelius, GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data, *Crop Science*, 47 (2007) 643-655.
- [18] W. Yan, M.S. Kang, GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists, CRC Press, Boca Raton, FL (2003).
- [19] W. Yan, N.A. Tinker, An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype \times environment interaction, *Crop Science*, 45 (2005) 1004-1016.