

بررسی ترکیب‌پذیری لاین‌های نرعقیم سیتوپلاسمی (CMS) برنج جهت تولید بذر هیبرید

Study of Combining Ability of Rice Cytoplasmic Male Sterility (CMS) Lines for Hybrid Seed Production

امید محمدی^۱، غفار کیانی^{۲*} و نادعلی باقری^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۰

چکیده

هتروزیس راهکاری برای افزایش بیشتر عملکرد برنج می‌باشد. انتخاب والدین مناسب، مهم‌ترین گام در هر برنامه اصلاحی است. این مطالعه باهدف تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری لاین‌های نرعقیم برنج با لاین‌های برگرداننده باروری جهت ارزیابی هتروزیس صفات زراعی انجام شد. بدین منظور ۳ لاین نرعقیم سیتوپلاسمی (CMS) (ندا A، نعمت A و چمپا A) به‌عنوان تستر با ۴ لاین برگرداننده باروری (IR68061، IR5931 و IR50 و پویا) به روش لاین در تستر تلاقی داده شدند و در سال بعد والدین و نتاج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت و ده صفت کمی روی آن‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت‌های بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات وجود دارد. به‌علاوه اثر تلاقی‌ها برای تمام صفات در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که تستر ندا A و لاین‌های IR50، IR68061 و IR5931 براساس اثرات GCA مثبت و معنی‌دار، ترکیب‌شونده‌های عمومی خوبی برای بهبود عملکرد دانه بودند. تلاقی‌های Nemat A×IR68061، Nemat A×IR5931، Nemat A×IR50، Nemat A×Pouya و Champa A×Pouya ترکیب‌پذیری خصوصی بسیار معنی‌داری را برای روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی نشان دادند. هیبریدهای نعمت A/IR50، نعمت A/IR68061 و ندا A/IR50 هتروزیس بالایی را نسبت به میانگین والدین نشان دادند. هیبریدهای ندا A/IR50، ندا A/IR68061 و نعمت A/IR50 هتروزیس بالایی را نسبت به والد برتر نشان دادند. درمجموع هیبرید ندا A/IR50 برترین هیبرید با مقادیر هتروزیس ۱۸/۱۴٪ (نسبت به میانگین والدین) و ۱۷/۴۳٪ (نسبت به والد برتر) به‌عنوان بهترین هیبرید امیدبخش جهت تولید بذر هیبرید در برنج شناسایی گردید.

واژه‌های کلیدی: برنج هیبرید، ترکیب‌پذیری، برگرداننده باروری، هتروزیس، لاین × تستر

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشیار و استادیار گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

* نویسنده مسئول Email: ghkiani@gmail.com

این تحقیق بخشی از پایان‌نامه نگارنده اول می‌باشد.

صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، روز تا ۵۰٪ گل‌دهی، طول خوشه، باروری سنبلچه و عملکرد دانه در بوته واریانس SCA نسبت به واریانس GCA بالاتر است که حاکی از اهمیت بیشتر اثر غیر افزایشی در کنترل این صفات می‌باشد. آهنگر و همکاران (۱۳۸۸) به‌منظور برآورد میزان ترکیب‌پذیری و نوع عمل ژن روی هفت صفت کمی از تلاقی دی آلل بین ۵ ژنوتیپ مختلف برنج به‌عنوان والد استفاده نمودند. در مطالعه آنان ارقام دشت، ندا و بی‌نام بهترین والد از نظر ترکیب‌پذیری عمومی و تلاقی‌های دم‌سیاه مشهد × بی‌نام و بی‌نام × آی آر ۶۲۸۷۱-۱۷۵-۱-۷۱ به‌عنوان بهترین دورگ‌ها از لحاظ ترکیب‌پذیری خصوصی برای عملکرد و اجزاء وابسته به آن شناسایی شدند. صادقی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی عمل ژن و ترکیب‌پذیری ۳ لاین و ۳ رقم برنج اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی معنی‌دار را برای تمام صفات مورد مطالعه و نسبت میانگین مربعات GCA به SCA معنی‌دار را برای صفات تعداد پنجه، طول دانه و عرض دانه گزارش کردند. باقری و بابائیان جلودار^۶ (2010) والد و هیبریدهای حاصل از تلاقی لاین × تستر آن‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. بر طبق نتایج آن‌ها، ارقام IR50، IR62829A و پویا ترکیب‌شونده عمومی خوبی برای بیشتر صفات مورد مطالعه بودند. تلاقی‌های موسی طارم × IR62829A، پویا × IR62829A، IR62829A × IR58025A و پویا × IR58025A ترکیبات خوبی برای عملکرد دانه و بیشتر صفات وابسته بودند. میرعرب^۷ و همکاران (2011) با ارزیابی قابلیت ترکیب‌پذیری، هتروزیس و پارامترهای ژنتیکی عملکرد و اجزای عملکرد ۵ لاین و ۲ تستر، گزارش نمودند که اثر قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) فقط برای تعداد کل دانه در خوشه، تعداد دانه پر و عملکرد دانه در بوته و قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی برای عملکرد و کلیه اجزاء آن (به‌جز وزن ۱۰۰ دانه) معنی‌دار بود. هم‌چنین برای کلیه صفات، وراثت‌پذیری خصوصی پایین بود که نشان‌دهنده نقش مهم اثرات غیرافزایشی در کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با عملکرد است. هدف از این پژوهش، تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌های CMS مورد استفاده در تولید بذر هیبرید برنج، ارزیابی هتروزیس و انتخاب ترکیبات ایده‌آل جهت تولید آزمایشی بذر هیبرید برای تولید برنج هیبرید بوده است.

برنج غذای اصلی مردم دنیاست و به‌واسطه داشتن کربوهیدرات بالا، چربی کم و غنی بودن از پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی، به‌عنوان غذای ضروری، زمینه ایجاد امنیت غذایی، اشتغال و درآمد را برای کشاورزان و مردم فراهم می‌کند. ۹۰٪ از برنج دنیا در آسیا تولید و مصرف می‌شود (یاشیتولا^۱ و همکاران، 2004). طبق آمار منتشره از موسسه بین‌المللی برنج (IRRI) میزان واردات برنج ایران به ۱/۵ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ خواهد رسید. با توجه به چالش رشد جمعیت و کاهش اراضی کشاورزی تنها راه‌حل این مشکل اصلاح عملکرد در واحد سطح می‌باشد. دو راه مؤثر برای افزایش پتانسیل عملکرد محصولات از طریق اصلاح نباتات شناخته شده است که یکی از آن‌ها بهبود مورفولوژی گیاه و دیگری استفاده از هتروزیس می‌باشد. هتروزیس پدیده‌ای است که هیبریدهای F₁ حاصل از والدین متنوع، از نظر صفات مختلف نسبت به والدین خود برتری نشان می‌دهند (سلیم^۲، 2008). در برنج، هتروزیس اولین بار توسط جونز در سال ۱۹۲۶ گزارش شد و به معنی برتری عملکرد F₁ نسبت به والدین می‌باشد. هتروزیس می‌تواند در اثر غالبیت ناقص یا کامل، فوق‌غالبیت، اپیستازی و یا ترکیبی از این عوامل باشد. این برتری یا قدرت هیبرید در نسل دوم و نسل‌های بعدی به علت خودباروری و تفرق صفات کاهش می‌یابد (ویرمانی^۳ و همکاران، 2003).

اصلاح ارقام برنج به‌منظور افزایش عملکرد آن‌ها نیز مستلزم شناخت ساختار ژنتیکی ترکیب‌پذیری ارقام زراعی و میزان وراثت‌پذیری در آن‌هاست. تجزیه لاین در تستر فرصتی را برای ارزیابی پتانسیل اصلاحی والدین فراهم می‌کند و بهترین ترکیبات را در گیاهان زراعی شناسایی می‌کند. با استفاده از یک ژنوتیپ با پایه ژنتیکی وسیع به‌عنوان تستر می‌توان قابلیت ترکیب‌پذیری لاین‌ها را به روش تاپ کراس مورد آزمایش قرارداد. تجزیه لاین × تستر، تغییر یافته روش تاپ کراس است که در آن از چندین تستر استفاده می‌شود (کمپثورن^۴، 1957). تجزیه لاین × تستر اطلاعاتی در مورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین فراهم می‌کند و درعین حال در تعیین اجزاء ژنتیکی واریانس، وراثت‌پذیری، پیشرفت ژنتیکی و هتروزیس مفید است.

ساوانت^۵ و همکاران (2006) تجزیه لاین × تستر را با ۵ لاین CMS^۶ و ۸ تستر انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که برای

6. Cytoplasmic male sterility
7. IR62871-175-1-10
8. Bagheri and Babaeian-Jelodar
9. Mirarab

1. Yashitola
2. Saleem
3. Virmani
4. Kempthorne
5. Sawant

با فرض عدم وجود اپیستازی، واریانس (σ^2_{gca}) GCA و واریانس SCA (σ^2_{sca}) به صورت زیر محاسبه شدند:

$$\sigma^2_{gca} = Cov.H.S. = \left(\frac{1+F}{4}\right) \sigma^2_A$$

$$\sigma^2_{sca} = \left(\frac{1+F}{4}\right)^2 \sigma^2_D$$

واریانس‌های ژنتیکی افزایشی و غالبیت $(\sigma^2_D$ و σ^2_A) با در نظر گرفتن ضریب خودگشنی (F) مساوی ۱ یعنی $F=1$ محاسبه شدند. زیرا هم لاین‌ها و هم تسترها اینبرد هستند. آزمون معنی‌داری آثار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تسترها با استفاده از آزمون t صورت گرفت. برای تجزیه لاین \times تستر با استفاده از بسته آماری Agricolae موجود در نرم‌افزار R (<http://www.r-project.org>) استفاده گردید. مقادیر هتروزیس با استفاده از فرمول‌های زیر به دست آمد:

$$\text{هتروزیس میانگین والدین} = (F1 - MP)/Mp \times 100$$

$$\text{heterobeltiosis والد برتر} = (F1 - HP)/Hp \times 100$$

در این فرمول‌ها MP: متوسط عملکرد والدین و HP متوسط عملکرد والد برتر می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات مورد بررسی تفاوت‌های معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی برای بهبود صفات می‌باشد (جدول ۱). در مطالعات محققین دیگر در زمینه لاین در تستر، تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد و اجزاء عملکرد توسط پراجو و شارما^۲ (۱۹۹۹) و شارما و مانی^۳ (۲۰۰۵) گزارش شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال از فروردین‌ماه ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۲ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در ۹ کیلومتری جاده خزر آباد به طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا به اجرا در آمد. مواد گیاهی شامل ۴ لاین برگرداننده باروری (IR50, IR5931, IR68061 و پویا) و ۳ لاین نرعیتم (ندا A, نعمت A و چمپا A) بود. لاین‌های نرعیتم (تهیه شده از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری طبرستان) به‌عنوان والد مادری و لاین‌های برگرداننده باروری به‌عنوان والد پدری مورد استفاده قرار گرفتند. در سال اول اجرای آزمایش، جهت هماهنگ کردن زمان گل‌دهی، ارقام والدینی در سه مرحله و با فاصله ۱۵ روز از یکدیگر کاشته شدند. بسته به مرحله ظهور گل‌ها، تلاقی بین لاین‌ها و تسترها به روش لاین \times تستر انجام و ۱۲ هیبرید F_1 به دست آمد. در سال بعد هیبریدهای حاصل به همراه والدین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در کرت‌هایی به مساحت ۴ مترمربع با الگوی 25×25 سانتی‌متر کشت شدند. در طول فصل رشد صفات روز تا ۵۰٪ گل‌دهی، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد پنجه بارور، طول خوشه (سانتی‌متر)، تعداد کل دانه در خوشه، تعداد دانه پر در خوشه، تعداد دانه پوک در خوشه، طول دانه (میلی‌متر)، وزن هزاردانه و عملکرد دانه (گرم در بوته) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری‌ها بر روی ۱۰ بوته تصادفی از هر ژنوتیپ در هر تکرار انجام گردید. بعد از وجود تنوع بین تلاقی‌ها با استفاده از تجزیه واریانس براساس مدل طرح تجزیه واریانس برای صفات مذکور انجام شد. برای تجزیه‌های بیشتر، اثرات تلاقی‌ها به اجزاء آن و هم‌چنین برای محاسبه واریانس افزایشی و غیرافزایشی از روش پیشنهادی کمپتورن (۱۹۷۵) و سینگ و چوداری^۱ (۱۹۷۹) به شرح زیر استفاده گردید:

$$Cov.H.S. (line) = \frac{M_l - M_{l \times t}}{rt}$$

$$Cov.H.S. (tester) = \frac{M_t - M_{l \times t}}{rl}$$

$$Cov.F.S. = \frac{(M_l - M_g) + (M_t - M_g) + (M_{l \times t} - M_g)}{3r} + \frac{6r Cov.H.S. - r(l+t) Cov.H.S.}{3r}$$

$$Cov.H.S. (average) = \frac{1}{r(2lt - l - t)} \left[\frac{(l-1)(M_l) + (t-1)(M_t)}{l+t-2} - M_{l \times t} \right]$$

2. Perraju and Sharma
 3. Sharma and Mani

1. Singh and Chaudhary

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مختلف در ژنوتیپ های برنج
Table 1: Analysis of variance for different traits in rice genotypes

میانگین مربعات Mean squares										درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O. V.
وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	طول دانه Grain length	طول خوشه Panicle length	روز از نشاء تا ۵۰٪ گل دهی Days to 50% heading	تعداد کل دانه Total number of grian	تعداد دانه پوک Non-filled grains No.	تعداد دانه پر Filled grains No.	تعداد پنجه بارور در بوته Number of tiller	ارتفاع بوته Plant height		
3.87 ^{ns}	29.21 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.15 ^{ns}	1.37 ^{ns}	43.64 ^{ns}	169.15 ^{ns}	388.53 ^{ns}	0.77 ^{ns}	82.96 ^{ns}	1	تکرار Replication
27.31 ^{**}	69.96 ^{**}	0.97 ^{**}	12.35 ^{**}	36.21 ^{**}	2187.53 ^{**}	1189.63 ^{**}	2001.23 ^{**}	10.83 ^{**}	234.93 ^{**}	18	ژنوتیپ ها Genotypes
55.69 ^{**}	53.44 ^{**}	2.29 ^{**}	15.70 ^{**}	59.57 ^{**}	1752.51 ^{**}	304.06 ^{ns}	1430.16 ^{**}	21.62 ^{**}	348.77 ^{**}	6	والدین Parents
-0.73 ^{ns}	-10.19 ^{ns}	0.38 ^{**}	50.66 ^{**}	95.90 ^{**}	391 ^{ns}	5729.04 ^{**}	3450.33 ^{**}	6.61 [*]	925.60 ^{**}	1	والدین در مقابل تلاقی ها Parents vs. crosses
14.39 ^{**}	118.98 ^{**}	0.31 ^{**}	7.04 ^{**}	18.04 ^{**}	2588.14 ^{**}	1256.99 ^{**}	2180.90 ^{**}	5.33 ^{**}	110.05 ^{**}	11	تلاقی ها Crosses
7.55 ^{ns}	367.32 ^{**}	0.60 ^{**}	21.67 ^{**}	34.11 [*]	4953.02 ^{**}	397.03 ^{ns}	7272.08 ^{**}	9.99 [*]	304.88 ^{**}	3	لاین ها Lines
27.23 ^{ns}	103.32 ^{**}	0.55 ^{**}	7.26 [*]	27.16 [*]	3854.80 [*]	4768.57 ^{**}	25.93 ^{ns}	8.33 [*]	157.53 ^{**}	2	تسترها Testers
16.00 ^{**}	5.44 ^{**}	0.08 ^{**}	1.72 ^{ns}	7.27 ^{**}	870.54 ^{**}	566.86 ^{ns}	365.88 [*]	2.27 ^{ns}	18.50 ^{ns}	6	لاین × تستر Line × Tester
0.57	7.06	0.02	0.74	0.18	121.96	262.12	133.73	0.87	7.36	17	خطا Error

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد
ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

دانه بودند. لاین IR5931 ترکیب‌شونده عمومی خوبی برای کاهش تعداد دانه پوک می‌باشد. برای صفت روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، لاین‌های IR68061 و پویا دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار درحالی‌که لاین‌های IR50 و IR5931 دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار می‌باشد. لاین‌های IR5931 و پویا ترکیب‌شونده‌های عمومی خوبی برای افزایش طول خوشه و طول دانه می‌باشند درحالی‌که IR68061 و IR50 کاهنده این صفات می‌باشند. از نظر وزن هزاردانه فقط لاین پویا دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار می‌باشد. برای عملکرد تمامی لاین‌ها به‌جز پویا همگی ترکیب‌شونده‌های عمومی خوبی برای افزایش عملکرد می‌باشند. در مورد تسترها، دو تستر روند کاملاً متفاوتی را دارا بودند،

در ادامه برای تجزیه‌های بیشتر، اثرات تلاقی‌ها به اجزاء آن و همچنین برای محاسبه واریانس افزایشی و غیرافزایشی که از روش پیشنهادی کمپتورن (1975) استفاده گردید، مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها به مجموع مربعات والدین، والدین در مقابل تلاقی‌ها و تلاقی‌ها تجزیه شد که اثر والدین برای کلیه صفات به‌جز تعداد دانه پوک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد و اثر تلاقی‌ها برای کلیه صفات معنی‌دار گردید و اثر والدین در مقابل تلاقی‌ها به‌جز تعداد کل دانه، وزن هزاردانه و عملکرد برای سایر صفات معنی‌دار بود. تجزیه اثر تلاقی‌ها به اجزاء تشکیل‌دهنده خود براساس تجزیه لاین × تستر، نشان داد که اثر لاین‌ها برای صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه پر، تعداد کل دانه، طول خوشه، طول دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد و تعداد پنجه بارور در بوته و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود ولی برای تعداد دانه پوک و وزن هزاردانه غیرمعنی‌دار بود. اثر تسترها نیز برای تمامی صفت مورد مطالعه (به‌غیر از تعداد دانه پر و وزن هزاردانه) معنی‌دار بود. اثر متقابل لاین × تستر برای صفات تعداد دانه پر در سطح ۵ درصد و برای تعداد کل دانه، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، طول دانه، عملکرد دانه و وزن هزاردانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. معنی‌داری اثر لاین‌ها (والدین مادری) و تسترها (والدین پدری) نشان‌دهنده بروز واریانس افزایشی است درحالی‌که معنی‌داری اثر متقابل لاین × تستر نشان‌دهنده اهمیت واریانس غیرافزایشی می‌باشد (سانقر/ و حسین^۱، 2012). سینگ و کومار^۲ (2004) واریانس معنی‌داری در بین ژنوتیپ‌ها، تلاقی‌ها، لاین‌ها، تسترها و اثر متقابل لاین × تستر حاصل از تجزیه ۳ لاین با ۹ تستر برنج را گزارش نمودند. در مطالعه‌ای توسط پانوار^۳ (2005) با استفاده از ۳ لاین و ۱۰ تستر، اثر لاین‌ها و تسترها و همچنین اثر متقابل لاین × تستر برای کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بوده است.

تجزیه ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها (جدول ۲) نشان داد که در بین لاین‌ها، IR68061 و IR50 دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی معنی‌دار و لاین‌های IR5931 و پویا دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای ارتفاع بوته بودند. برای تعداد پنجه بارور در بوته لاین پویا دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار و لاین‌های IR68061 و IR50 دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بودند. تمامی لاین‌ها (به‌جز پویا) دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفات تعداد دانه پر، تعداد کل دانه و عملکرد

1. Sanghera and Hussain
2. Singh and Kumar
3. Panwar

جدول ۲: ترکیب پذیری عمومی (GCA) لاین ها و تسترها و اجزاء واریانس ژنتیکی برای صفات مختلف
 Table 2: General combining ability (GCA) of lines and testers and components of genetic variance for different traits

میانگین مربعات Mean squares										
وزن هزاردانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه (گرم) Grain yield (g)	طول دانه (میلی متر) Grain length (mm)	طول خوشه (سانتی متر) Panicle length (cm)	روز از نشاء تا ۵۰٪ گل دهی Days to 50% heading	تعداد کل دانه Total grain No.	تعداد دانه پوک Non-filled grains No.	تعداد دانه پر Filled grains No.	تعداد پنجه بارور در بوته Number of tiller	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	والدین Parents
0.13	4.26**	-0.35**	-1.65**	0.39**	9.24**	-0.41	9.65*	1.21**	-8.49**	IR68061
-0.47*	2.78**	0.11*	1.89**	-1.94**	23.21**	-10.59*	33.84**	0.12	4.79**	IR5931
-1.11**	5.06**	-0.20**	-1.54**	-1.61**	9.67**	2.49	7.18*	0.63*	-3.68**	IR50
1.46**	-11.40**	0.38**	1.03**	3.23**	-40.48**	8.44	-49.06**	-1.76**	5.96**	پویا Pouya
0.21	0.76	0.04	0.24	0.12	3.18	4.67	3.33	0.27	0.78	S.E. (gt)
0.61*	3.52**	0.15*	-0.65*	-0.85**	-25.11**	-25.29**	0.21	1.22**	-4.24**	ندا Neda A
1.57**	0.28	0.18**	0.87*	-1.36**	-3.93	-2.25	-1.70	-0.58	3.64**	نعمت Nemat A
-2.10**	-3.36**	0.31**	-0.30	2.14**	25.90**	24.38**	1.52	-0.49	0.07	چمپا ChampaA
0.26	0.93	0.05	0.30	0.15	3.90	5.72	4.08	0.33	0.95	S.E. (gt)

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد
 * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳: ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) تلاقی‌ها برای صفات مختلف مورد مطالعه

Table 3: Specific combining (SCA) of crosses for studied traits

وزن هزاردانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه (گرم) Grain yield (g)	طول دانه (میلی‌متر) Grain length (mm)	طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle length (cm)	روز از نشاء تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% heading	تعداد کل دانه Total grain No.	تعداد دانه پوک Non-filled grains No.	تعداد دانه پر Filled grains No.	تعداد پنجه بارور در بوته Number of tiller	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تلاقی‌ها Crosses
-3.38**	-0.75	0.03	-0.46	1.50**	-5.66	2.01	-7.70	-0.78	3.59	ندا IR68061 × A Neda A × IR68061
-0.51	0.75	0.29*	0.24	-1.25**	12.64	7.84	4.83	1.10	-1.58	نعمت IR68061 × A Nemat A × IR68061
3.86**	-0.004	0.29*	0.221	-0.25	-6.98	-9.85	2.87	-0.31	-1.97	چمپا IR68061 × A Champa A × IR68061
1.77**	0.43	-0.02	-0.367	-1.50**	-12.90	2.72	-15.56	0.05	0.25	ندا IR5931 × A Neda A × IR5931
-0.04	-0.31	-0.005	-0.354	1.25**	22.21*	16.02	6.15	-0.65	2.42	نعمت IR5931 × A Nemat A × IR5931
-1.73**	0.87	0.03	0.721	0.25	-9.30	-18.76	9.41	0.60	-2.68	چمپا IR5931 × A Champa A × IR5931
0.72	-0.06	0.12	0.667	2.16**	3.08	4.80	7.84	0.44	0.04	ندا IR50 × A Neda A × IR50
1.93**	1.96	0.20	0.779	-1.08**	-4.15	-4.24	0.11	0.65	-1.76	نعمت IR50 × A Nemat A × IR50
-2.63**	-1.90	0.08	-1.446*	-1.08**	1.07	9.04	-7.93	-1.09	1.29	چمپا IR50 × A Champa A × IR50
0.84	0.38	0.12	0.167	-2.16**	15.48	0.05	15.42	0.28	-3.84	ندا A × پویا Neda A × Pouya
-1.38*	-1.41	-0.05	-0.671	1.08**	-30.70**	-19.64	-11.09	-1.09	0.92	نعمت A × پویا Nemat A × Pouya
0.53**	1.02	0.17	0.50	1.08**	15.22	19.58	-4.32	0.80	2.92	چمپا A × پویا Champa A × Pouya
0.53	1.87	0.10	0.61	0.30	7.80	11.44	8.17	0.66	1.91	S.E. (Sij)

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد
 * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

خصوصی بسیار معنی‌دار بوده است. ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدهای Nemat A×IR6801 و Champa A× IR6801 از نظر طول خوشه مثبت و معنی‌دار می‌باشد. برای وزن هزار دانه، تلاقی‌های Champa A× IR6801، Nemat A×IR5931، Champa A×IR50 و A×IR50 اثر ترکیب‌پذیری خصوصی بسیار معنی‌داری را دارا بودند. برای سایر تلاقی‌ها، ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌دار نبود. عدم معنی‌دار شدن ترکیب‌پذیری خصوصی برای بقیه تلاقی‌ها احتمالاً به علت قوی بودن حداقل یکی از تسترها می‌باشد.

واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی σ^2_{GCA} برای تمامی صفات به جز صفت عملکرد تک بوته بیشتر از واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی σ^2_{SCA} بود که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر اثر ژن افزایشی برای این صفات است. نسبت واریانس قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی به قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی ($\sigma^2_{GCA} / \sigma^2_{SCA}$) و همچنین نسبت واریانس افزایشی به واریانس غالبیت (σ^2_A / σ^2_D) آن را تأیید می‌کند. واریانس اثر غالبیت برای تمامی صفات به جز عملکرد تک بوته بیشتر از واریانس اثر افزایشی بود و برای صفات عرض دانه و طول دانه به یک میزان برآورد شد (جدول ۴).

تستر ندا A دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و بسیار معنی‌دار برای ارتفاع بوته، تعداد دانه پوک، تعداد کل دانه، روز تا ۵۰٪ گلدهی و طول خوشه و ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای تعداد پنجه بارور و در بوته، طول دانه، عملکرد دانه و وزن هزار دانه است، درحالی‌که تستر چمپا A به غیر از صفت طول دانه کاملاً برعکس عمل نموده است. تستر نعمت A دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای ارتفاع بوته، طول خوشه، طول دانه و وزن هزار دانه می‌باشد. /اکرم^{۱۷} و همکاران (2007) در بررسی ترکیب‌پذیری ۷ رقم برنج، ۳ ژنوتیپ را به‌عنوان بهترین ترکیب‌شونده عمومی برای عملکرد و اجزاء عملکرد شناسایی نمودند. پادماواتی^{۱۸} و همکاران (2012) در ارزیابی ۵۲ هیبرید حاصل از تلاقی ۴ لاین و ۱۳ تستر، ۲ لاین و ۵ تستر را با اثرات GCA بالا و معنی‌دار برای بهبود عملکرد شناسایی کردند.

قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی صفات مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌دار برای صفت تعداد کل دانه فقط برای تلاقی Nemat A×IR5931 معنی‌دار بوده است. برای روز تا ۵۰ درصد گلدهی‌های Nemat A×IR50، Nemat A×IR5931، Nemat A×IR68061 و Champa A×Pouya و Nemat A×Pouya ترکیب‌پذیری

جدول ۴: برآورد مقادیر اجزاء واریانس ژنتیکی برای صفات مختلف در برنج

Table 4: Estimation of components of genetic variance for different traits in rice

σ^2_e	σ^2_p	σ^2_g	σ^2_D / σ^2_A	σ^2_A / σ^2_D	$\sigma^2_{GCA} / \sigma^2_{SCA}$	σ^2_{SCA}	$\sigma^2_{D, F=1}$	$\sigma^2_{GCA, F=1}$	$\sigma^2_A, F=1$	اجزای ژنتیکی Genetic components
7.36	121.14	113.78	1.09	0.91	22.26	0.04	5.57	0.93	5.11	ارتفاع بوته Plant height
0.87	5.87	5.00	4.05	0.24	29.41	0.02	0.69	0.85	0.17	تعداد پنجه بارور Number of tiller
133.73	1067.48	933.75	1.85	0.53	14.92	0.05	116.07	0.87	62.56	تعداد دانه پر No. of Filled grains
262.12	725.87	463.75	2.25	0.44	6.87	0.09	152.36	0.63	67.43	تعداد دانه پوک No. of non-filled grains
121.96	1154.74	1032.78	4.18	0.23	11.55	0.07	374.28	0.89	89.38	تعداد کل دانه Total grain No.
0.18	18.19	18.01	6.80	0.14	34.64	0.02	3.54	0.99	0.52	روز از نشاء تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% heading
0.74	6.54	5.80	1.75	0.57	20.73	0.04	0.49	0.88	0.28	طول خوشه Panicle length
0.02	0.49	0.47	3.00	0.33	47.50	0.02	0.03	0.95	0.01	طول دانه Grain length
7.06	38.51	31.45	-0.15	-6.47	6.07	0.13	-0.80	0.81	5.18	عملکرد دانه Grain yield
0.57	13.94	13.37	77.10	0.01	133.7	0.007	7.71	0.95	0.10	وزن هزاردانه 1000-grain weight

جدول ۵: درصد هتروزیس هیبریدها نسبت به میانگین والدین
 Table 5: Percentage of heterosis in relation to mid parents

وزن هزاردانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه (گرم) Grain yield (g)	طول دانه (میلی‌متر) Grain length (mm)	طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle length (cm)	روز از نشاء تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% heading	تعداد کل دانه Total grain No.	تعداد دانه پوک Non-filled grains No.	تعداد دانه پر Filled grains No.	تعداد پنجه بارور در بوته Number of tiller	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تلاقی‌ها Crosses
-8.07**	12.97	-2.07	7.15*	0	5.62	-7.81	-15.84	-2.58	12.75**	ندا IR68061 × A Neda A × IR68061
5.25*	18.15*	0.41	7.41*	-7.63**	9.24	20.70	2.88	-13.11**	14.59**	نعمت IR68061 × A Nemat A × IR68061
16.98**	13.17	-5.04**	11.49**	-6.42**	5.80	33.51	-7.85	8.16	4.35	چمپا IR68061 × A Champa A × IR68061
10.74**	4.92	5.94**	11.88**	-7.88**	0.84	8.01	-1.41	-4.54	14.72**	ندا IR5931 × A Neda A × IR5931
5.40*	-2.94	6.17**	8.72*	-6.50**	32.87**	69.35	18.75*	-34.47**	22.51**	نعمت IR5931 × A Nemat A × IR5931
-7.23*	-0.45	6.78**	16.45**	-8.40**	21.20**	52.33	10.39	4.43	8.25**	چمپا IR5931 × A Champa A × IR5931
-3.16	18.14*	1.25	6.57*	-2.46**	10.14	11.02	9.78	3.42	8.70**	ندا IR50 × A Neda A × IR50
2.67	21.39**	-1.77	4.11	-10.84**	19.13*	43.90*	7.29	-21.10**	12.83**	نعمت IR50 × A Nemat A × IR50
-19.91**	6.44	0.91	0.48	-10.94**	28.07**	117.60*	-9.64	-6.37	6.94**	چمپا IR50 × A Champa A × IR50
-1.65	-23.63**	-1.85	7.52**	-4.76**	-21.94**	38.88	-41.98**	9.04	2.84	ندا A × پویا Neda A × Pouya
-7.18**	-37.28**	-1.11	2.03	-3.50**	-35.03**	30.74	-6.55**	-37.25**	12.65**	نعمت A × پویا Nemat A × Pouya
-6.54**	-35.52**	0.89	9.42**	-3.30**	-2.49	157.06**	-57.98**	25.65*	6.04**	چمپا A × پویا Champa A × Pouya
0.64	2.23	0.12	0.72	0.36	13.59	13.65	9.78	0.71	2.29	S.E. (Sij)

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد
 * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۶: درصد هتروزیس هیبریدها نسبت به والد برتر
Table 6: Percentage of heterosis in relation to superior parent

وزن هزاردانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه (گرم) Grain yield (g)	طول دانه (میلی متر) Grain length (mm)	طول خوشه (سانتی متر) Panicle length (cm)	روز از نشاء تا ۵۰٪ گل دهی Days to 50% heading	تعداد کل دانه Total grain No.	تعداد دانه پوک Non-filled grains No.	تعداد دانه پر Filled grains No.	تعداد پنجه بارور در بوته Number of tiller	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تلاقی ها Crosses
-24.92**	12.71	-9.74**	0.75	-3.17**	-11.45	-28.18	-26.74**	-5.57	9.53**	ندا IR68061 × A Neda A × IR68061
16.06**	8.56	-7.99**	-7.70**	-12.21**	-8.75	2.52	-14.84	-24.62**	14.31**	نعمت IR68061 × A Nemat A × IR68061
-1.75	-5.06	-9.39**	1.81	-15.65**	-4.27	13.72	-13.99	-8.50	-0.82	چمپا IR68061 × A Champa A × IR68061
-8.02**	-2.33	-6.31**	9.33**	-61.90**	-11.77	7.14	-17.09*	-6.67	3.38	ندا IR5931 × A Neda A × IR5931
-14.57**	-17.16*	-6.63**	2.36	-12.21**	16.06	51.22	-4.81	-42.69**	13.12**	نعمت IR5931 × A Nemat A × IR5931
-20.71**	-21.03**	-2.41	15.56**	-18.37**	15.23	35.61	-0.77	-12.23	5.24*	چمپا IR5931 × A Champa A × IR5931
-13.40**	17.43*	-7.68**	5.60	-5.56**	2.57	3.59	2.16	0.39	0.20	ندا IR50 × A Neda A × IR50
-10.59**	12.06	-10.94**	-4.87	-15.27**	10.48	38.30	-5.48	-31.43**	6.44*	نعمت IR50 × A Nemat A × IR50
-26.04**	-11.00	-4.79**	-2.89	-19.73**	26.10**	108.44**	-9.98	-20.93*	6.36*	چمپا IR50 × A Champa A × IR50
-4.87	-30.91**	-4.84**	2.37	-4.76**	-33.42**	34.22	-52.36**	-19.54*	-12.90**	ندا A × پویا Neda A × Pouya
-12.83**	-38.47**	-4.71**	-1.34	-5.34**	-44.80**	21.34	-69.07**	-56.92**	-2.43	نعمت A × پویا Nemat A × Pouya
-6.68*	-40.65**	0.31	5.64	-10.20**	-10.09	137.82**	-63.21**	48.51**	-3.68	چمپا A × پویا Champa A × Pouya
0.74	2.58	0.14	0.84	0.42	15.70	15.76	11.29	0.91	2.64	S.E. (Sij)

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد
* and **: Significant at 5 and 1 level, respectively

تقریباً ۳۸-۵۰ درصد از هیبریدها هتروزیس والد برتر مثبت و معنی‌داری برای عملکرد دانه در بوته ثبت کردند. در مطالعه باقری و بابائیان-جلودار (2010) بالاترین هتروزیس (۱۰۶/۱۶۰) در تلاقی IR68899A × Poya مشاهده شده است. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که تستر ندا A و لاین‌های IR50، IR68061/A و IR5931 بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی برای بهبود عملکرد دانه بودند. هیبریدهای نعمت A/IR50، نعمت A/IR68061 و ندا IR50/A بالاترین هتروزیس را نسبت به میانگین والدین نشان دادند. هیبریدهای ندا A/IR50، ندا A/IR68061 و نعمت A/IR50 بالاترین هتروزیس برای عملکرد را نسبت به والد برتر نشان دادند. در مجموع هیبرید ندا IR50/A با مقادیر هتروزیس و هتروبلتیویزیشن بیش از ۱۵ درصد به‌عنوان بهترین هیبرید امیدبخش جهت تولید بذر هیبرید در برنج معرفی می‌گردد.

نتایج هتروزیس مشاهده شده در بین هیبریدها نسبت به میانگین والدین (جدول ۵) و والد برتر (جدول ۶) نشان داد که برای عملکرد دانه هتروزیس براساس میانگین والدین از ۳۷/۲۸- تا ۲۱/۳۹ درصد و هتروزیس براساس والد برتر از ۴۰/۶۵- تا ۱۷/۴۳ درصد متغیر بود. ۵ هیبرید دارای هتروزیس میانگین والدین بالای ۱۰ درصد بودند که عبارتند از ندا A/IR68061 (۱۲/۹۷)، نعمت A/IR68061 (۱۸/۱۵)، چمپا A/IR68061 (۱۳/۱۷)، ندا A/IR50 (۱۸/۱۴) و نعمت A/IR50 (۲۱/۳۹). همچنین هتروزیس والد برتر برای ۳ هیبرید بالای ۱۰ درصد بود که عبارتند از ندا A/IR68061 (۱۲/۷۱)، ندا A/IR50 (۱۷/۴۳) و نعمت A/IR50 (۱۲/۰۶). بنابراین این هیبریدها دارای هتروزیس قابل قبول برای افزایش عملکرد هستند. پراجو و شارما (1999) گزارش کردند که از میان ۲۴ هیبرید برنج حاصل از تلاقی ۳ لاین CMS و ۸ تستر، ۴ هیبرید دارای اثرات هتروزیس بالا برای عملکرد دانه هستند. در مطالعه‌ای که توسط سینگ^{۱۹} و همکاران (2002) صورت گرفت

منابع

- آهنگر، ل.، رنجبر، غ. ع. و نوروزی، م. ۱۳۸۸. برآورد اثرات ژن و ترکیب پذیری عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام برنج (*Oryza sativa* L.) به روش تلاقی دیال. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۰ (۴): ۱۴۳-۱۴۹.
- صادقی، س. م.، سمیع‌زاده، ح. و اله قلی پور، م. ۱۳۸۹. بررسی ترکیب‌پذیری لاین‌ها و ارقام برنج با استفاده از تجزیه دی‌آل. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۱ (۱): ۱۳۹-۱۳۱.
- Akram, M., Munir, M., Ajmal, S., Mahmud, S. and Ashraf, Y. 2007. Combining ability analysis for yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). Pakistan Journal of Agricultural Research, 20: 1-2.
- Bagheri, N. A. and Babaeian-Jelodar, N. A. 2010. Heterosis and combining ability analysis for yield and related- yield traits in hybrid rice. International Journal of Biology, 2 (2): 222-231.
- Kempthorne, O. 1957. An introduction to genetic statistics, John wily and Nordskog, Inc. London: Chapman and Hall. Ltd.
- Mirarab, M., Ahmadikhah, A. and Pahlavani, M. H. 2011. Study on combining ability, heterosis and genetic parameters of yield traits in rice. African Journal of Biotechnology, 10 (59): 12512-12519.
- Padmavathi, P. V., Satyanarayana, P. V., Ahamed, M. L., Rani Y. A. and Rao, V. S. 2012. Combining ability studies for yield and yield components trait in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Electronic Journal of Plant Breeding, 3 (3): 836-842.
- Panwar, L. L. 2005. Line × tester of combining ability in rice (*Oryza sativa* L.). Indian Journal of Genetics, 65 (1): 51-52.
- Perraju, P. and Sharma, N. P. 1999. Combining ability studies in rice. *Oryza*, 36 (3): 248-249.
- Saleem, M. Y. 2008. Genetic analysis of basmati rice (*Oryza sativa* L.). PhD thesis, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan.
- Sanghera, G. S. and Hussain, W. 2012. Heterosis and combining ability estimates using line x tester analysis to develop rice hybrids for temperate conditions. Notulae Scientia Biologicae, 4 (3): 131-142.
- Sawant, D. S., Shetye, V. N. and Desai, S. S. 2006. Combining ability studies in rice involving diverse cytotsteriles. International Journal of Plant Sciences, 1 (2): 193-196.
- Sharma, R. K. and Mani, S. C. 2005. Combining ability and gene action for quality characters in Basmati rice (*Oryza sativa* L.). Indian Journal of Genetics, 65 (2): 123-124.
- Singh, N. K. and Kumar, A. 2004. Combining ability analysis to identify suitable parents for heterotic rice hybrid breeding. International Rice Research Newsletter, 29 (1): 21-22.
- Singh, R. V., Dwivedi, J. L. and Singh, R. K. 2002. Heterosis studies in rice hybrids involving WA sources of CMS lines. Annals of Agricultural Research, 23 (4): 541-547.

- Virmani S. S., Sun, Z. X. Mou, T. M., Jauhar Ali, A. and Mao, C. X. 2003. Two-Line Hybrid Rice Breeding Manual The International Rice Research Institute.
- Yashitola, J., Sundaram, R. M., Biradar, S. K., Thirumurugan, T., Vishnupriya, M. R., Rajeshwari, R., Viraktamath, B. C., Sarma, N. P. and Sonti, R. V. 2004. A sequence specific PCR marker for distinguishing rice lines on the basis of Wild Abortive cytoplasm from their cognate maintainer lines. *Crop Science*, 44: 920-924.

Study of Combining Ability of Rice Cytoplasmic Male Sterility (CMS) Lines for Hybrid Seed Production

Mohammadi¹, O., Kiani^{2*}, G. and Bagheri², N. A.

Abstract

Heterosis is a solution for yield enhancement in rice. Selection of suitable parents is the most important step in every breeding program. This study was performed with the aim of determination of combining ability of male sterile and fertility restoring rice lines for heterosis evaluation. For this propose, 3 cytoplasmic male sterile testers were crossed with 4 fertility restoring lines using line × tester method. Parents and their F₁ progenies arranged in RCB design and ten quantitative traits measured during the growing season. Analysis of variance showed significant differences among genotypes for all studied traits ($P \leq 1\%$). Furthermore, the crosses effect was significant for all traits at 1% level. Results showed that tester Neda A and lines IR50, IR68061 and IR5931 were identified as the good parents based on positive and significant GCA effects for grain yield. Hybrids Neda A × IR68061, Nemat A × IR5931, Neda A × IR50, Nemat A × Pouya and Champa A × Pouya showed high significant effects for days to 50 percent heading. Hybrids Nemat A × IR50, Nemat A × IR68061 and Neda A × IR50 showed the higher mid parent heterosis. Hybrids Neda A × IR50, Neda A × IR68061 and Nemat A × IR50 showed the higher heterobeltiosis. Finally, hybrid Neda A × IR50 with heterosis values of 18.14% (mid parents) and 17.43% (superior parent) identified as the best promising hybrid for hybrid seed production in rice.

Keywords: Hybrid rice, Combining ability, Fertility restorer, Heterosis, Line × tester

1, 2 and 3. MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

*: Corresponding author

Email: ghkiani@gmail.com