

شناسایی والدین مناسب برای تولید ارقام هیبرید برنج از طریق ارزیابی قابلیت ترکیب پذیری و هتروزیس

- امیربخش بلوچزی، دانش آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- غفار کیانی، استادیار گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول)
- نادعلی باقری، استادیار گروه بیوتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: فروردین ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۹۳
پست الکترونیک نویسنده مسئول: ghkiani@gmail.com

چکیده

برنج غذای اصلی مردم ایران است. با توجه به افزایش جمعیت لازم است که تولید برنج افزایش یابد. بهره برداری از هتروزیس به عنوان راهکاری برای افزایش بیشتر عملکرد برنج می باشد. انتخاب والدین مناسب، مهم ترین گام در هر برنامه اصلاحی به خصوص تولید برنج هیبرید می باشد. این مطالعه با هدف شناسایی والدین مناسب برای تولید ارقام برنج هیبرید در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. بدین منظور در سال ۱۳۹۰، پنج لاین تجدید کننده باروری و پنج تستر نر عقیم سیتوپلاسمی جهت تولید ۲۵ هیبرید F_1 به روش لاین×تستر با یکدیگر تلاقی داده شدند. در سال بعد بذور هیبریدهای حاصل به همراه والدین در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی کشت شدند. هفت صفت کمی پس از اندازه گیری در طول فصل رشد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ ها برای کلیه صفات مورد بررسی تفاوت های معنی داری (در سطح ۱٪) وجود دارد. مجموع مربعات ژنوتیپ ها به مجموع مربعات والدین، والدین در مقابل تلاقی ها و تلاقی ها تجزیه شد. نتایج نشان داد که تستر T1 و لاین های L1، L2 و L3 با توجه به متوسط وضعیت صفات زراعی و اثرات GCA خوب به عنوان بهترین والدین برای بهبود عملکرد شناخته شدند. از بین F_1 ها نیز هیبریدهای $L_3 \times T_1$ ، $L_3 \times T_2$ ، $L_1 \times T_2$ و $L_1 \times T_5$ با توجه به متوسط وضعیت، اثرات SCA و مقادیر هتروزیس هیبریدهای امیدبخش برای عملکرد بودند.

کلمات کلیدی: برنج هیبرید، لاین×تستر، قابلیت ترکیب پذیری خصوصی، هتروزیس

Identification of Suitable Parents for Production of Hybrid Rice Varieties through Evaluation of Combining Ability and Heterosis

By:

- A. Baloch Zehi, Graduated M.Sc. of Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
- G. Kiani, (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
- N. Bagheri, Assistant Professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: April 2013

Accepted: February 2015

Rice is staple food in Iran. As regards to population increase it is necessary to increase rice yield. Exploration from heterosis is an option for yield enhancement in rice. Selection of suitable parents is the most important step in every breeding programs especially in hybrid rice production. This study was performed with the aim of identifying suitable parents for breeding programs and promising hybrids for experimental hybrid rice seed production at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. For this propose 5 fertility restoring lines and 5 cytoplasmic male sterility testers were crossed with each other to produce 25 F1 hybrids in 2011 using line $\times$ tester method. In the next year, hybrids seeds along with their parents were planted in a randomized complete block design. Seven quantitative traits measured during the growing season and then analyzed. Results showed significant differences among genotypes for all studied traits ($P \leq 1\%$). Sum of squares of genotypes was fractioned to sum of squares of parents, parents vs. crosses and crosses. Results showed that tester T1 and lines L1, L2 and L3 were identified as the best parents according to the high mean performance and good GCA effects for yield improvement. In addition, among the F1s, hybrids L3 $\times$ T1, L3 $\times$ T2, L1 $\times$ T2, L1 $\times$ T5 and L5 $\times$ T5 were the promising hybrids for yield according to the mean performance, SCA effects and heterosis values.

key Words: Hybrid rice, Line $\times$ Tester, Specific combining ability, Heterosis.

مقدمه

برنج از محصولات اصلی تأمین کننده کالری مورد نیاز مردم جهان است و از منابع غذایی اصلی مردم ایران به شمار می‌رود. با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و همچنین تغییر در عادات رژیم غذایی و میل به مصرف برنج در دنیا لازم است که تولید برنج افزایش یابد. از طرفی با توجه به محدودیت‌هایی که در تولید این محصول وجود دارد این افزایش تولید باید در زمین کمتر و با کارگر کمتر صورت گیرد. بهره برداری از هتروزیس به عنوان راهکاری برای افزایش بیشتر عملکرد و تأمین نیاز جمعیت رو به رشد جهان می باشد. بنابراین تلاش‌ها برای بهره برداری از هتروزیس آغاز شد تا اینکه محققان چینی توانستند با تولید تجاری برنج هیبرید افزایش چشمگیری در عملکرد برنج ایجاد کنند. هتروزیس پدیده‌ای است که هیبریدهای F1 حاصل از والدین متنوع، از نظر صفات مختلف نسبت به والدین خود برتری نشان می دهند (Saleem, 2008).

انتخاب والدین مناسب مهم‌ترین گام در هر برنامه اصلاحی به خصوص تولید برنج هیبرید می‌باشد. برای انتخاب دقیق‌تر لاین‌های والدینی و همچنین تعیین قابلیت ترکیب پذیری آن‌ها از روش‌های مختلف ژنتیک کمی از جمله تلاقی‌های دای آلل و لاین $\times$ تستر استفاده می‌شود. تجزیه لاین $\times$ تستر که توسط کمپتون (Kemp, 1957) پیشنهاد شده است، برای غربال لاین‌های مورد نیاز جهت دورگ گیری استفاده می‌شود و این امر از سرعت و اطمینان بیشتری برخوردار می‌باشد. تعیین ترکیب پذیری و اجزاء واریانس

ژنتیکی از مهم‌ترین کارهای هر برنامه اصلاحی برای دورگ گیری می‌باشد (Fehr, 1993) و به اصلاح کنندگان کمک می‌نماید تا نحوه عمل ژن یا ژن‌های دخیل در تظاهر صفات کمی مهم را تعیین و والدین با ترکیب پذیری عمومی مثبت و هیبریدهای با ترکیب پذیری خصوصی بالا را شناسایی نمایند. برآورد قابلیت ترکیب پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) به اصلاح گران کمک می‌نماید تا در مورد برنامه های اصلاحی و استراتژی‌های گزینش ژنوتیپ‌ها تصمیم گیری نمایند (De la Vega and Chapman, 2006).

ویوی و جیریداران (Vive and Jiridharan, 1995) اثر ترکیب پذیری عمومی معنی دار در سطح احتمال پنج درصد را برای صفات عملکرد دانه، طول دانه و عرض دانه برای همه لاین‌ها و تسترها در برنج گزارش نمودند. زو و ویرمانی (Xu and Virmani, 2000) در بررسی ۶۶ هیبرید، ۱۰ تستر و ۲۳ لاین پیشرفته برنج، برای عملکرد دانه، واریانس غالبیت و واریانس افزایشی را بترتیب ۳۱/۸ و ۶۳/۷ گزارش نمودند.

محققین زیادی با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب مقادیر هتروزیس، قابلیت ترکیب پذیری عمومی و قابلیت ترکیب پذیری خصوصی را مورد ارزیابی قرار دادند

Rahimi *et al.*, 2010; Selvaraj *et al.*, 2011; Sanghera and Hus-) Sarker *et al.*, 2013; Latha *et al.*, 2012; Sain, 2012). سارکر و همکاران (Sarker *et al.*, 2013) درصد بالایی از هتروزیس (۱۰۰/۷) را برای عملکرد دانه (Bagheri and Babae-) باقری و بابائیان جلودار

(ian-Jelodar, 2010) و والد (سه لاین نر عقیم سیتوپلاسمی و ۴ رقم تجدید کننده باروری) و هیبریدهای حاصل از تلاقی لاین×تستر آنها را مورد مطالعه قرار داده و والدین و هیبریدهای مناسب برای صفات مختلف را با برآورد قابلیت ترکیب پذیری عمومی و خصوصی و مقادیر هتروزیس مشخص نمودند. تیواری و همکاران (Tiwari *et al.*, 2011) هیبریدهای برتر برنج را از طریق برآورد اثر ژن، مقادیر هتروزیس و قابلیت ترکیب پذیری به روش لاین×تستر شناسایی کردند. هدف از اجرای این آزمایش برآورد قابلیت ترکیب پذیری و همچنین تعیین میزان هتروزیس صفات مورد مطالعه و در نهایت شناسایی لاین‌های والدینی مناسب برای برنامه های اصلاحی و همچنین انتخاب ترکیب‌های مناسب برای تولید برنج هیبرید بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال از فروردین ماه ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱ 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 ۵ لاین نر عقیم سیتوپلاسمی و ۵ لاین برگرداننده باروری لاین‌های نر عقیم (تهیه شده از پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان) به عنوان والد ماده و لاین‌های برگرداننده باروری به عنوان والد نر مورد استفاده قرار گرفت. 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×تستر انجام شد و ۲۵ هیبرید F_1 بدست آمد. در سال بعد هیبریدهای حاصل به همراه والدین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در کرت هائی به مساحت ۴ متر مربع کشت شدند. در طول فصل رشد صفات ارتفاع بوته (سانتی متر)، تعداد پنجه بارور، طول خوشه (سانتی متر)، تعداد دانه پر در خوشه، طول دانه (میلی متر)، وزن هزار دانه (گرم) و عملکرد دانه (گرم در بوته) اندازه گیری شد. اندازه گیری‌ها بر روی ۱۰ بوته تصادفی از هر ژنوتیپ در هر تکرار انجام گردید. برای تجزیه و تحلیل داده ها ابتدا تجزیه واریانس ساده با استفاده از داده های حاصل از ژنوتیپ‌ها (لاین‌ها، تسترها و دورگ‌ها) صورت گرفت. مقایسه میانگین لاین‌ها، تسترها و دورگ‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای کلیه صفات انجام شد. جهت انجام تجزیه واریانس و مقایسات میانگین از نرم افزار SAS و برای تجزیه لاین×تستر با استفاده از بسته آماری Agricolae موجود در نرم افزار R (<http://www.r-project.org>) استفاده گردید. مقادیر هتروزیس با استفاده از فرمول‌های زیر بدست آمد:

$$\text{هتروزیس میانگین والدین} = \frac{F_1 - MP}{Mp} \times 100$$

$$\text{هتروزیس والد برتر یا heterobeltiosis} = \frac{F_1 - HP}{Hp} \times 100$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات مورد بررسی تفاوت‌های معنی داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد (جدول ۱) که نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی برای بهبود صفات می‌باشد. شارما و مانی (Sharma and Mani, 2005) وجود تنوع ژنتیکی برای ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول

خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد در بوته را در برنج گزارش کرده اند. مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها به مجموع مربعات والدین، والدین در مقابل تلاقی‌ها و تلاقی‌ها تجزیه شد که اثر والدین و تلاقی‌ها برای کلیه صفات و اثر والدین در مقابل تلاقی‌ها به جز وزن هزار دانه و عملکرد برای سایر صفات معنی دار بود. مجموع مربعات تلاقی‌ها به اجزاء لاین‌ها، تسترها و لاین×تستر تجزیه شد. لاین‌ها برای کلیه صفات و تسترها به جز تعداد دانه پر برای سایر صفات دارای تفاوت معنی دار بودند. اثر متقابل لاین×تستر برای ارتفاع، تعداد دانه پر و وزن هزار دانه معنی دار بود. معنی داری اثر لاین‌ها (والدین مادری) و تسترها (والدین پدری) نشان دهنده بروز واریانس افزایشی است در حالی که معنی داری اثر متقابل لاین×تستر نشان دهنده اهمیت واریانس غیر افزایشی می‌باشد (Sanghera and Latha *et al.*, 2013; Hussain, 2012). در مطالعه ای توسط پانوار (Panwar, 2005) با استفاده از ۳ لاین و ۱۰ تستر، اثر لاین‌ها و تسترها و همچنین اثر متقابل لاین×تستر برای کلیه صفات مورد بررسی معنی دار بود.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی (والدین و هیبریدها) به روش آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال آماری ۵٪ انجام شد که نتایج آن برای صفات مختلف در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. تسترهای T1 و T3 به ترتیب با میانگین ۲۸/۹۹ و ۲۸/۳۳ بیشترین عملکرد را داشتند. در بین لاین‌ها، لاین L1 با متوسط ۳۴/۷۵ گرم دانه در بوته از سایر لاین‌ها برتر بود. هیبرید $L3 \times T1$ با میانگین عملکرد ۳۹/۰۱ گرم در بوته بهترین هیبرید برای عملکرد بود. پس از آن هیبریدهای $L2 \times T1$ ، $L3 \times T2$ و $L1 \times T2$ به ترتیب با میانگین ۳۶/۹۴، ۳۶/۴۹ و ۳۵/۰۷ قرار گرفتند.

متوسط وضعیت ژنوتیپ‌ها یکی از معیارهای مهم برای ارزیابی آن‌ها می‌باشد، با این حال مشخص نیست که والدین بتوانند کارایی بالای خود را به هیبریدها انتقال دهند؛ بنابراین توانایی والدین را می‌توان با اثرات GCA برآورد کرد (Virmani *et al.*, 2003). ارزیابی متوسط وضعیت و اثرات GCA والدین به طور جداگانه منجر به شناسایی والدین برتر می‌شود. بنابراین والدینی که از هر دو نظر متوسط وضعیت و اثرات GCA بهتر عمل می‌کنند می‌توانند به عنوان والدین مطلوب استفاده شوند (Saleem, 2008). اثرات ترکیب پذیری عمومی والدین در جدول ۴ آورده شده است. لاین‌های L1، L2 و L3 و تستر T1 به علت اثرات GCA مثبت و معنی دار به ترتیب با مقادیر ۵/۰۹، ۲/۳۲، ۴/۳۵ و ۳/۲۶ ترکیب شونده های عمومی خوبی برای بهبود عملکرد بودند. لاین L4 و تستر L4 به دلیل اثر GCA منفی و معنی دار برای این صفت نامطلوب می‌باشند. لاین L5 و تسترهای باقیمانده به جز T2 که GCA مثبت و غیر معنی دار داشت، دارای GCA منفی ولی غیر معنی دار بودند. پادماواتی و همکاران (Padma-vathi, *et al.*, 2012) در ارزیابی ۵۲ هیبرید حاصل از تلاقی ۴ لاین و ۱۳ تستر، ۲ لاین و ۵ تستر را با اثرات GCA بالا و معنی دار برای بهبود عملکرد شناسایی کردند. همچنین، اکرم و همکاران (Akram, *et al.*, 2007) در بررسی ترکیب پذیری ۷ رقم برنج، ۳ ژنوتیپ را به عنوان بهترین ترکیب شونده عمومی برای عملکرد و اجزاء عملکرد شناسائی نمودند.

قابلیت ترکیب پذیری خصوصی صفات مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. کلیه هیبریدها از نظر عملکرد دارای SCA متوسط بودند که از این بین ۱۲ هیبرید $L1 \times T2$ ، $L1 \times T4$ ، $L1 \times T5$ ، $L2 \times T1$ و $L2 \times T4$ ، $L3 \times T1$ ، $L3 \times T2$ ، $L4 \times T1$ ، $L4 \times T4$ ، $L4 \times T5$ و $L5 \times T3$

هیبریدها دارای هتروزیس قابل قبول برای افزایش عملکرد هستند. تلاقی لاین L4 با تسترهای T1 و T2 نتوانست باروری کافی در هیبریدهای حاصل ایجاد کند و لذا هتروزیس مورد انتظار حاصل نشد، در حالی که باقری و بابائیان جلودار (Bagheri and Babaeian-Jelodar, 2010) بالاترین مقدار هتروزیس را برای تلاقی این لاین با تستر IR68899A بدست آوردند.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تستر T1 و لاین‌های L1، L2 و L3 (به ترتیب اهمیت) بر اساس متوسط وضعیت و اثرات والدین مطلوب برای بهبود عملکرد می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه افزایش عملکرد یکی از مهمترین اهداف بهنژادگر می‌باشد، هیبریدهای L3×T1، L3×T2، L1×T2، L1×T5 و L5×T5 بر اساس متوسط وضعیت، اثرات SCA و مقادیر هتروزیس به عنوان برترین هیبریدها از نظر ویژگی‌های زراعی (در مقایسه با والدین مربوطه) برای بهبود عملکرد شناخته شدند. با ادامه مطالعات در زمینه سازگاری در سال‌ها و مکان‌های مختلف، این ترکیبات می‌توانند نوید بخش تولید ارقام جدید هیبرید برنج در کشور باشند.

L5×T5 دارای SCA مثبت و ۱۳ هیبرید دارای SCA منفی بودند. نتایج مشابهی توسط احمدی خواه (Ahmadikhah, 2009) بدست آمده است.

نتایج هتروزیس مشاهده شده در بین هیبریدها نسبت به میانگین والدین (جدول ۶) و والد برتر (جدول ۷) نشان داد که برای عملکرد هتروزیس میانگین والدین از محدوده -۳۸/۴۵ تا ۳۲/۸۲ درصد و هتروزیس والد برتر از -۴۷/۲۸ تا ۳۱/۱۱ درصد می‌باشد. کمترین هتروزیس میانگین والدین و والد برتر برای هیبرید L4×T3 مشاهده شد. همچنین بیشترین هتروزیس میانگین والدین و والد برتر برای هیبرید L3×T1 به دست آمد. هیبریدهای L1×T1 (۱۱/۰۲)، L1×T2 (۲۳/۲۹)، L1×T3 (۱۰/۳۷)، L1×T4 (۳۰/۲۸)، L1×T5 (۳۱/۰۵)، L2×T1 (۱۵/۹۱)، L3×T1 (۳۲/۸۲)، L3×T2 (۲۹/۵۸)، L3×T4 (۱۹/۰۳) و T5×L5 (۲۳/۸۸) دارای هتروزیس میانگین والدین بالای ۱۰ درصد بودند. همچنین هتروزیس والد برتر برای هیبریدهای L1×T2 (۱۵/۶۲)، L1×T5 (۱۲/۴۳)، L3×T1 (۳۱/۱۱)، L3×T2 (۲۲/۶۲) و L5×T5 (۱۰/۴۵) بالای ۱۰ درصد بود، بنابراین این

جدول ۱- میانگین مربعات بر اساس تجزیه واریانس صفات مختلف در ژنوتیپ‌های برنج

منابع تغییرات	Source of variance	درجه آزادی Df	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
تکرار	Replication	1	146.22	3.24	1.68	236.59	0.13	1.17	39.80
ژنوتیپ‌ها	Genotypes	34	192.82**	7.45**	7.84**	2659.89**	0.64**	19.61**	81.91**
والدین	Parents	9	290.18**	11.85**	12.62**	1195.63**	1.79**	43.80**	59.50**
والدین در مقابل تلاقی‌ها	Parents vs. Crosses	1	817.88**	7.01*	33.44**	2664.68**	0.52**	3.56ns	28.94ns
تلاقی‌ها	Crosses	24	130.27**	5.81**	4.98**	2308.79**	0.22**	11.21**	92.37**
لاین‌ها	Lines	4	376.83**	16.41**	17.96**	14277.00**	0.67**	28.11**	417.27**
تسترها	Testers	4	270.92**	11.69**	6.87**	1774.17ns	0.50**	18.79*	52.66ns
لاین × تستر	Line×Tester	16	33.47**	1.69ns	1.27ns	800.39**	0.03ns	5.08**	21.07ns
خطا	Error	34	3.27	1.21	0.76	274.14	0.02	1.75	16.48
ضریب تغییرات	Coefficient of Variance		1.66	10.69	3.00	16.41	1.39	4.79	14.77

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲- متوسط وضعیت والدین برای صفات مختلف مورد بررسی در ژنوتیپ‌های برنج

والدین Parents	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
<u>تسترها Testers</u>							
T1	88.67d	13.42ab	25.75c	85.70bc	10.49b	31.00ab	28.99a
T2	94.25c	14.38a	32.05a	81.20bc	11.63a	32.67a	26.56ab
T3	111.5a	9.25bc	28.63b	124.50a	10.81bc	27.67c	28.33a
T4	100.75b	8.75c	27.13bc	106.25ab	10.32d	29.70bc	16.38c
T5	99.25b	9.88abc	29.75ab	75.25c	10.50cd	28.50c	21.71b
<u>لاین‌ها Lines</u>							
L1	93.06d	12.63a	23.15c	144.83a	9.44c	19.50c	30.33ab
L2	108.25b	12.31a	27.75ab	143.3a	8.59d	19.50c	34.75a
L3	105.94bc	11.31ab	26.65b	123.3a	9.41c	2400b	29.76ab
L4	131.30a	6.43c	30.08a	115.00a	11.22a	29.75a	20.20b
L5	104.40c	9.71b	29.17ab	107.1a	10.87b	30.25a	27.72ab

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۳- متوسط وضعیت هیبریدها برای صفات مختلف مورد بررسی در ژنوتیپ های برنج

تلاقی ها Crosses	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
L1×T1	101.12gh	13.12ab	27.25j	99.00bcde	10.58defg	23.00a	32.93abcd
L1×T2	108.19def	12.25abcd	29.35cdefghi	105.9bcd	10.80bcde	28.17a	35.07ab
L1×T3	119.74b	10.88bcdefg	30.05bcdefg	132ab	10.18hijk	26.17a	32.37abcde
L1×T4	101.94g	10.56 cdefg	27.9hij	105bcde	10.42fghij	26.33a	30.43abcde
L1×T5	97.00h	11.75 abcde	27.75ij	104.5bcde	10.11ijk	25.50a	34.10abc
L2×T1	112.13cd	12.44abc	29.3defghi	124.8ab	10.79bcde	29.33a	36.94ab
L2×T2	122.44ab	9.31efghi	32.55a	132.9ab	10.96abc	28.67a	30.93abcde
L2×T3	121.31ab	9.00fghij	29.85bcdefg	159.8a	10.24ghijk	24.83a	28.49bcde
L2×T4	114.40c	10 defgh	31.73ab	130.5ab	10.53efgh	23.67a	27.41bcde
L2×T5	112.17cd	9.67efgh	31.71ab	159a	10.50efgh	25.75a	27.33bcde
L3×T1	104.13fg	13.50a	28.31fghij	112.88bc	10.39fghijk	28.33a	39.01a
L3×T2	112cd	11.14 bcdef	30.25bcdef	100.2bcde	10.45efghi	30.00a	36.49ab
L3×T3	115.10c	9.50efgh	28.01ghij	112.80bc	10.19hijk	29.33a	31.16abcde
L3×T4	110.63cd	9.63efgh	28.54efghij	72.67cdefg	10.05jk	24.25a	27.45bcde
L3×T5	108.83de	10.58cdefg	28.71efghij	137.58ab	10.02k	28.50a	27.11bcde
L4×T1	111.00cd	10.25cdefgh	30.38bcde	61.25efgh	11.03ab	30.00a	22.23ef
L4×T2	124.33a	7.00ij	31.38abc	32.75gh	11.19a	29.25a	16.65f
L4×T3	124.67a	6.83j	31.25abcd	34.00fgh	10.79bcde	28.50a	14.93f
L4×T4	122.75ab	9.00fghij	30.88abcd	42.75fgh	10.92abcd	27.50a	15.45f
L4×T5	111.25cd	8.75fghij	31.00abc d	22.25h	10.57defg	26.33a	16.43f
L5×T1	97.38h	9.50efgh	26.71j	50.00fgh	11.04ab	31.00a	24.68cdef
L5×T2	105.13efg	10.96bcdefg	30bcdefg	64.25defgh	10.72bcdef	31.25a	24.69cdef
L5×T3	110.90cd	8.00hij	29.56cdefghi	134.63ab	10.65cdef	31.25a	30.71abcde
L5×T4	103.17g	8.50hhij	28.00ghij	77.25cdef	10.61cdefg	27.25a	23.78def
L5×T5	110.92cd	10.50cdefg	28.08ghij	116.00abc	10.35fghijk	29.67a	30.62abcde

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با هم اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۴- قابلیت ترکیب پذیری عمومی (GCA) برای صفات مختلف در ژنوتیپ های برنج

والدین Parents	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
L1	-5.71**	1.61**	-1.08**	12.29**	-0.15**	-1.92**	5.09**
L2	5.19**	-0.02ns	1.49**	44.41**	0.04ns	-1.30**	2.32*
L3	-1.17**	0.77**	-0.77**	10.24**	-0.34**	0.33ns	4.35**
L4	7.50**	-1.74**	1.44**	-58.39**	0.34**	0.56ns	-10.76**
L5	-5.81**	-0.61*	-1.07**	-8.56*	0.11**	2.33**	-0.10ns
S.E. (gl)	0.404	0.246	0.196	3.702	0.033	0.296	0.908
T1	-6.16**	1.66**	-1.15**	-7.40ns	0.20**	0.58ns	3.26*
T2	3.11**	0.03ns	1.17**	-9.79ns	0.26**	1.71**	0.87ns
T3	7.04ns	-1.26**	0.21ns	17.66**	-0.15**	0.26ns	-0.36ns
T4	-0.73ns	-0.57ns	-0.13ns	-11.35**	-0.06ns	-1.95**	-2.99*
T5	-3.27**	0.15ns	-0.09ns	10.88**	-0.25**	-0.60ns	-0.78ns
S.E. (gt)	0.571	0.348	0.227	5.236	0.046	0.418	1.284

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵- قابلیت ترکیب پذیری خصوصی (SCA) برای صفات مختلف در هیبریدهای برنج

تلاقی‌ها Crosses	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
L1×T1	1.67	-0.25	-0.06	-2.88	-0.04	-3.41**	-3.31
L1×T2	-0.52	0.51	-0.28	6.41	0.12	0.62	1.22
L1×T3	7.10**	0.43	1.38*	5.06	-0.09	0.07	-0.24
L1×T4	-2.93*	-0.58	-0.43	7.07	0.06	2.46*	0.44
L1×T5	-5.33**	-0.11	-0.62	-15.66	-0.06	0.27	1.90
L2×T1	1.80	0.70	-0.58	-9.20	-0.02	2.30*	3.46
L2×T2	2.84*	0.80	0.36	1.29	0.10	0.50	-0.16
L2×T3	-2.22	0.18	-1.39*	0.74	-0.21	-1.88	-1.37
L2×T4	-1.36	0.48	0.84	0.45	-0.02	-0.83	0.18
L2×T5	-1.05	-0.57	0.77	6.72	0.15	-0.10	-2.11
L3×T1	0.14	0.97	0.70	13.05	-0.03	-0.33	3.51
L3×T2	-1.25	0.24	0.32	2.76	-0.03	0.20	3.37
L3×T3	-2.08	-0.11	-0.96	-12.08	0.12	0.98	-0.72
L3×T4	1.22	-0.67	-0.10	-23.21	-0.11	-1.88	-1.8
L3×T5	1.96	-0.43	0.03	19.48	0.05	1.02	-4.36
L4×T1	-1.64	0.23	0.55	30.05	-0.08	1.10	1.83
L4×T2	2.42	-1.40	-0.77	3.94	0.03	-0.78	-1.37
L4×T3	-1.17	-0.27	0.07	-22.26	0.05	-0.08	-1.84
L4×T4	4.68**	1.20	0.03	15.50	0.08	1.14	1.30
L4×T5	-4.28**	0.24	0.11	-27.23*	-0.07	-1.38	0.07
L5×T1	-1.97	-1.65*	-0.61	-31.02*	0.16	0.34	-5.48
L5×T2	-3.48*	1.44	0.36	-14.39	-0.22*	-0.55	-3.08
L5×T3	-1.64	-0.23	0.89	28.54*	0.13	0.90	4.18
L5×T4	-1.61	-0.43	-0.34	0.18	-0.01	-0.88	-0.12
L5×T5	8.69**	0.86	-0.30	16.69	-0.07	0.19	4.50
S.E. (Sij)	1.278	0.779	0.618	11.708	0.104	0.934	2.870

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۶- هتروزیس میانگین والدین برای صفات مختلف در تلاقی‌های برنج

تلاقی‌ها Crosses	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
L1×T1	-8.91	4.43**	3.85**	-5.26	11.45**	11.28**	-6.53**
L1×T2	-7.99	2.91	2.55*	3.57	6.34*	15.52**	-10.07**
L1×T3	10.95*	-3.42*	0.54	6.54	16.08**	17.07**	-8.54**
L1×T4	7.05	5.94**	5.46**	-8.52	10.99**	5.19**	-12.38**
L1×T5	6.25	5.10**	1.37	5.26	4.91	0.88	-12.80**
L2×T1	16.17**	4.07*	10.55**	9.00	9.53**	13.88**	-11.45**
L2×T2	9.90*	0.58	8.45**	18.40	8.86**	20.93**	-8.96**
L2×T3	5.30	3.60*	5.62**	19.34	5.90*	10.41**	-9.41**
L2×T4	-3.79	7.01**	11.35**	4.59	15.66**	9.47**	-12.29**
L2×T5	7.29	5.34**	10.05**	45.50**	10.29**	8.11**	-11.75**
L3×T1	3.03	6.00**	2.18	17.09	8.06**	7.01**	-9.5**
L3×T2	5.88	4.89**	-0.59	6.43	3.07	11.90**	-12.47**
L3×T3	13.55**	2.80	0.28	-2.59	1.36	5.87**	-9.00**
L3×T4	-9.68*	9.25**	1.89	-31.88*	6.15*	7.05**	-10.90**
L3×T5	8.57	7.67**	0.64	50.90**	1.80	6.08**	-11.32**
L4×T1	0.92	3.32	8.81**	-46.86**	-0.45	-1.23	-9.63
L4×T2	10.25**	-32.69**	0.99	-71.02**	-2.07	-6.28	-28.78
L4×T3	2.69*	-12.81	6.46*	-74.75**	-1.99	-0.73	-38.45*
L4×T4	5.80**	18.62	7.94**	-65.95**	1.39	-7.79	-15.51
L4×T5	-3.49*	7.36	3.62	-79.78**	-2.63*	-9.95*	-21.61
L5×T1	0.87	-17.84*	-2.73	-50.17**	1.22	1.22	-12.97
L5×T2	5.84**	-9.00	-1.99	-34.51*	-4.72**	-0.66	-9.03
L5×T3	2.73	-15.60	2.31	12.42	-1.73	7.91	9.60
L5×T4	0.58	-7.90	-0.52	-30.17*	0.14	-9.09*	7.88
L5×T5	8.93**	7.23	-4.67	21.94	-3.16*	0.99	23.88
S.E. (Sij)	1.565	0.954	0.757	14.339	0.127	1.146	3.515

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۷- هتروزیس والد برتر برای برای صفات مختلف در تلاقی‌های برنج

تلاقی‌ها Crosses	ارتفاع Height	تعداد پنجه بارور Number of effective tillers	طول خوشه Panicle length	تعداد دانه پر Number of filled grain	طول دانه Grain length	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد yield
L1×T1	14.04**	-2.24	5.83	-19.71	-3.27*	-25.81**	8.56
L1×T2	16.25**	-14.78	-8.42**	-14.11	-7.10**	-13.78**	15.62
L1×T3	28.66**	-13.86	4.98	6.02	-5.85**	-5.42	6.72
L1×T4	9.54**	-16.34	2.86	-14.84	0.95	-11.34*	0.31
L1×T5	4.23*	-6.93	-6.72*	-15.25	-3.76*	-10.53*	12.43
L2×T1	26.46**	-7.30	5.59	-12.91	-1.33	-5.38	6.29
L2×T2	29.91**	-35.22**	1.56	-7.26	-5.72**	-12.24**	-11.01
L2×T3	12.07**	-26.90**	4.28	11.51	-5.24**	-10.24*	-18.02
L2×T4	13.55**	-18.78*	14.35**	-8.93	2.00	-20.21**	-21.12
L2×T5	13.01**	-21.49*	6.58*	10.96	0.02	-9.65*	-21.34
L3×T1	17.43**	0.62	6.24	5.39	-4.98**	-8.60	31.11*
L3×T2	18.83**	-22.48**	-5.62*	-6.44	-10.08**	-8.16	22.62
L3×T3	8.65**	-16.02	-2.14	-9.40	-5.76**	6.02	4.72
L3×T4	9.81**	-14.84	5.22	-32.15*	-2.26	-18.35**	-7.74
L3×T5	9.66**	-6.45	-3.50	28.46	-4.61**	0.00	-8.90
L4×T1	19.25**	-23.60**	0.97	-57.71**	-1.69	-3.23	-23.33
L4×T2	31.92**	-51.30**	-2.11	-77.39**	-3.78**	-10.46*	-37.30*
L4×T3	11.81**	-26.13**	3.88	-76.52**	-3.78**	-4.20	-47.28**
L4×T4	21.84**	2.86	2.63	-70.48**	-2.67*	-7.56	-23.51
L4×T5	12.09**	-11.39	3.05	-84.64**	-5.74**	-11.48*	-24.34
L5×T1	9.82**	-29.19**	-8.43**	-56.52**	0.91	0.00	-14.88
L5×T2	11.54**	-23.77**	-6.40*	-44.13**	-7.81**	0.00	-10.94
L5×T3	6.23**	-17.60	1.36	8.13	-2.01	0.00	8.43
L5×T4	2.40	-12.45	-4.00	-27.29	-2.40	-9.92*	-14.20
L5×T5	11.75**	6.33	-5.60	54.15*	-4.81**	-1.93	10.45
S.E. (Sij)	1.807	1.102	0.874	16.557	0.146	1.323	4.059

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadikhah, A. 2009. Estimation of heritability and heterosis of some agronomic traits and combining ability of rice lines using line × tester method. Electronic Journal of Crop Production, 1(2): 15-33 (In Persian).
- Akram, M., M. Munir, S. Ajmal, S. Mahmud and Y. Ashraf. 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 N.A. Babaeian-Jelodar. (2010). Heterosis and combining ability analysis for yield and related- yield traits in hybrid rice. International Journal of Biology, 2(2): 222 – 231.
- De la Vega, A.J., and Chapman, S.C. 2006. Multivariate analysis to display interactions between environment and general or specific combining ability in hybrid crops. Crop Sci., 46: 957-967.
- Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.r-project.org>
- Fehr, W.R. 1993. Principles of cultivar development. Vol.1. MacMillan Publ. Co. New York, USA. 342 Pp.
- Kempthorne, O. 1957. An introduction to genetic statistics, John wily and Nordskog, Inc. London: Chapman and Hall. Ltd.
- Latha, S. Sharma, D., and Sanghera, G.S. 2013. Combining ability and heterosis for grain yield and its component traits in rice (*Oryza sativa* L.). Not. Sci. Biol., 5(1): 90-97.
- Padmavathi, P. V., Satyanarayana, P. V., Ahamed, M. L., Rani and Y. A., Rao, V. S. 2012. Combining ability studies for yield and yield components trait in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Elect. J. Plant Breed., 3(3): 836-842.
- Panwar, L.L. 2005. Line × tester of combining ability in rice (*Oryza sativa* L.). Ind. J. Genet., 65(1): 51-52.
- Rahimi, M., Rabiei, B., Samizadeh, H., and Kafi Ghase-mi, A. 2010. Combining ability and heterosis in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. J. Agr. Sci. Technol., 12: 223-231.
- Saleem, M.Y. 2008. Genetic analysis of basmati rice

- (*Oryza sativa* L.). phd thesis, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan.
13. Sanghera, G.S. and Hussain, W. 2012. Heterosis and combining ability estimates using line x tester analysis to develop rice hybrids for temperate conditions. Not. Sci. Biol., 4(3): 131-142.
 14. Sarker, U., P. S. Biswas, B. Prasad and M. A Khaleque Mian. 2002. Heterosis and genetic analysis in rice hybrid. Pak. J. Bio. Sci., 5(1): 1-5.
 15. Selvaraj, C.I., Nagarajan, P., Thiyagarajan, K., Bharathi, M., and Rabindran, R. 2011. Studies on heterosis and combining ability of well known blast resistant rice genotypes with high yielding varieties of rice (*Oryza sativa* L.). Intern. J. Plant Breed. Genet., 5: 111-129.
 16. Sharma, R. K. and S. C. Mani. 2005. Combining ability and gene action for quality characters in Basmati rice (*Oryza sativa* L.). Ind. J. Genet., 65(2): 123-124.
 17. Tiwari, D.K., P. Pandey, S.P. Giri and J.L. Dwivedi. ۲۰۱۱. Prediction of gene action, heterosis and combining ability to identify superior rice hybrids. Int. J. Bot., 7: 126-144.
 18. Virmani, S.S., Sun Z.X., Mou T.M., Jauhar Ali A., and C.X. Mao. 2003. Two-line hybrid rice breeding manual. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 88p. Vive, K. and S. Giridharan. 1995. General combining ability for kernel traits in rice. IRRI Notes, 20 (1).
 19. Xu, W. and S.S. Virmani. 2000. Prediction of hybrid performance in rice. IRRI Notes, 25 (3).